

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE
DE LYON

ANNÉE 1965 — N° 177

**L'UTILISATION DE LA RADIOACTIVITÉ
DES EAUX ET DES GAZ
DE LA STATION DE BAGNÈRES-DE-LUCHON**

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 14 DÉCEMBRE 1965

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

par

VIEILLEFOND Henri

Ancien élève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

Né le 2 Mars 1937 à LYON-1^{er} (Rhône)



IMPRIMERIE DES BEAUX-ARTS
J. TIXIER & FILS, 19, RUE ROUX-SOIGNAT, LYON

1965



L'UTILISATION DE LA RADIOACTIVITÉ
DES EAUX ET DES GAZ
DE LA STATION DE BAGNÈRES-DE-LUCHON

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyens honoraires :

MM. J. LÉPINE
H. HERMANN

Membre de l'Institut.
Correspondant de l'Institut.

Doyen :

J.F. CIER

Assesseurs : MM. M. LEVRAT
L. REVOL

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. PATEL, LÉPINE, TRILLAT, MOURIQUAND, GARIN, GATÉ, MARTIN,
GABRIELLE, SANTY, DUCLOS, GUILLEMINET, HERMANN, ROCHET, POLLOSSON

PROFESSEURS

MM. CIBERT	Clinique urologique
PONTHUS (détaché à Beyrouth)	Physique biologique
DECHAUME	Clinique neuro-psychiatrique et d'Hygiène mentale
CHAMBON	Chimie organique et Toxicologie
PAUPERT-RAVAULT	Clinique médicale B
FROMENT	Clinique et Prophylaxie cardio-vasculaires
CROIZAT	Clinique médicale C
MALLET-GUY	Clinique chirurgicale A
REVOL	Pharmacie galénique
PIGEAUD	Clinique obstétricale
BOURRET	Médecine du Travail
LEVRAT	Clinique médicale A
SOHIER	Hygiène et Action sanitaire et sociale
NETIEN	Botanique et cryptogamie
BERTRAND	Clinique chirurgicale C
BADINAND	Chimie analytique pharmaceutique
DREVON	Pharmacie chimique et pharmacologie
ROCHE	Médecine légale et déontologie
COUDERT	Parasitologie et Pathologie exotique
MOUNIER-KUHN	Clinique d'oto-rhino-laryngologie et d'audio-phonologie
PAUFIQUE	Clinique ophtalmologique
THIERS	Clinique de dermatologie, syphiligraphie et allergologie
BRUN	Clinique de pneumo-ptisiologie
CREYSSSEL J.	Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique
DARGENT	Clinique carcinologique
GUICHARD	Anatomie pathologique
GIRARD P.	Pathologie générale et expérimentale
LATARJET	Anatomie
PEYCELON	Pathologie chirurgicale
GIRARD M.	Thérapeutique
VACHON	Pathologie médicale
GALY	Physio-pathologie des voies respiratoires
PAPILLON	Radiologie
JEUNE	Clinique infantile et hygiène du premier âge
GONIN	Hydrologie thérapeutique, Climatologie et Ecologie sociale
MONNET	Bactériologie
BANSSILLON	Physiologie et pathologie obstétricales
CHATONNET	Physiologie B
GUINET	Clinique endocrinologique
TRILLAT	Clinique de Chirurgie orthopédique
FREIDEL	Clinique Stomatologique
MARION J.	Clinique de Chirurgie et d'Orthopédie infantiles
DORCHE	Matière médicale et législation pharmaceutique
DUMONT L.	Histologie et embryologie
PERROT	Chimie
CIER J.F.	Physiologie A
PERRIN J.	Thérapeutique chirurgicale et chirurgie opératoire
MICHAUD P.	Clinique de Chirurgie cardiaque
MATHIEU	Clinique gynécologique
FAUCON	Biologie médicale et pharmacodynamie
BERTOYE	Clinique des maladies infectieuses
VINCENT D.	Biochimie appliquée.
CIER A.	Pharmacodynamie
X...	Hydrologie thérapeutique, climatologie et écologie sociale
X...	Clinique biologique et médicale
X...	Clinique médicale infantile
X...	Clinique chirurgicale B

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

MM. BERGER	Physique nucléaire appliquée à la médecine
MANSUY	Neuro-chirurgie
COLLET	Chimie générale et pharmaceutique
LACROIX	Hygiène et climatologie
LIARAS	Clinique chirurgicale propédeutique
LECUIRE	Neuro-chirurgie
REVOL	Médecine générale
GOINARD	Thérapeutique chirurgicale
PONT M.	Médecine générale
TRAEGER	Pathologie médicale et rénale

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM. ROMAN	Parasitologie	MM. De SOLLIERS	Chimie analytique
FEROLDI	Anatomie pathologique	DESPIERRE	Médecine générale
MORET	Physique biologique	GARIN	Parasitologie
ODDOUX	Botanique et cryptogamie	TOLOT	Médecine du Travail
		THIVOLET	Hygiène

MAITRES DE CONFÉRENCES AGRÉGÉS TITULAIRES

MM. CREYSEL R.	Chimie biologique	MM. MICHEL	Anesthésiologie
PINET	Electro-radiologie	FRIES	Médecine générale
GUYOTAT	Neuro-psychiatrie	GILLY	Pédiatrie
DESCOTES	Chirurgie générale	ROBERT	Médecine générale
JOUVET	Pathologie expérimentale	BOUCHET	Anatomie
PEYRIN	Physique biologique	BETHENOD	Pédiatrie
TOMMASI	Anatomie pathologique	GERMAIN	Immunologie, sérologie, hématologie
BUFFARD	Electro-radiologie		
LEJEUNE	Méd. gén. et thérapeutique	KALB	Pneumo-phtisiologie
De MOURGUES F.	Stomatologie	LARBRE	Pédiatrie
NAUSSAC	Maladies infectieuses	SOUSTELLE	Chirurgie générale
REBOUILLAT	Chirurgie générale	VIALA	Médecine générale
ROMAGNY	Pédiatrie	VINCENT	Bactériologie, parasitologie, virologie
DELAHAYE J.	Médecine générale		
DELEUZE R.	Anesthésiologie	GIROD	Histologie et embryologie
GIRAUD M.	Electro-radiologie diagnos- tic et thérapeutique.	GRAS	Chimie biologique
FRANÇOIS	Pédiatrie et puériculture	MALLEIN	Chimie analytique
MICHOULIER	Chirurgie générale	COLIN	Médecine légale
COLOMB	Dermatologie	BERTRAND	Chimie biologique
LAMBERT	Médecine générale	MARET	Chirurgie générale
		VIALLIER-BAYNARD	Bactériologie

MAITRES DE CONFÉRENCES AGRÉGÉS STAGIAIRES

MM. FAVRE-GILLY	Hématologie	MM. RIFFAT	Hygiène
FLANDROIS	Physiologie	FLEURETTE	Bactériologie
ROLLET	Pharmacie galénique		

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. MARION P.	Chirurgie générale	MM. GAILLARD	Oto-rhino-laryngologie
BONAMOUR	Ophthalmologie	GARDE	Médecine générale
De MOURGUES G.	Chirurgie générale	HUGONNIER	Ophthalmologie
DEVIC	Médecine générale	MORNEX	Médecine générale
DUMONT M.	Obstétrique	MOUNIER-KUHN A.	Chirurgie générale
DURAND	Urologie	NORMAND	Médecine générale
FRANCILLON	Chirurgie Générale	PERRIN A.	Médecine générale
SAUBIER	Chirurgie générale	DUMAS	Stomatologie
SCHOTT	Neuro-psychiatrie	GARMIER	Obstétrique
ALLEGRE	Neuro-chirurgie	NOEL	Médecine générale
CHASSARD	Electro-radiologie	SCHNEPP	Orthopédie
FAYSSE	Orthopédie	NOTTER	Gynécologie obstétricale

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. MORET, Président ; CIER, PEYRIN, GRANDPIERRE, Assesseurs

La Faculté de Médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

**L'UTILISATION DE LA RADIOACTIVITÉ
DES EAUX ET DES GAZ
DE LA STATION DE BAGNÈRES-DE-LUCHON**

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 14 DÉCEMBRE 1965

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

par

VIEILLEFOND Henri

Ancien élève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

Né le 2 Mars 1937 à LYON-1^{er} (Rhône)





Digitized by the Internet Archive
in 2026

A LA MÉMOIRE DE MON GRAND-PÈRE
Médecin-Colonel Henri CHAMBON

A MON PÈRE

A MA MÈRE

En témoignage de mon affection et de ma
profonde reconnaissance.

A MON FRÈRE

A MES SŒURS

A MA COUSINE Anne GALLOUIN

Confraternellement et avec toute mon affection.

A TOUTE MA FAMILLE

A NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE

Monsieur le Professeur MORET

Professeur de Physique Biologique

Il nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre thèse. Qu'il nous soit permis de lui témoigner ici notre gratitude et notre profond respect.

A NOS JUGES

Monsieur le Professeur A. CIER

Professeur de Pharmacie Chimique et Pharmacologie

Nous le remercions de l'accueil qu'il a bien voulu nous réserver, et de nous honorer de sa présence dans ce jury.

Monsieur le Professeur PEYRIN

Professeur de Physique Biologique

Il nous a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail, nous lui adressons nos sincères remerciements.

Monsieur le Professeur R. GRANDPIERRE

Professeur de Physiologie
à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux
Directeur à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes

Il a fait naître en nous notre vocation et nous a suivi paternellement au cours de nos études. Il nous a confié ce travail.

Qu'il veuille bien trouver ici un humble témoignage de notre profonde affection et notre reconnaissance.

A NOTRE MAITRE

Monsieur le Professeur G. PÉRÈS

Professeur de Physiologie à la Faculté des Sciences de Lyon

Il nous a fait le grand honneur de nous accueillir dans son laboratoire où pendant trois ans, avec une extrême bienveillance il nous a formé aux méthodes de la recherche. Nous avons admiré son enseignement. Qu'il nous permette de l'assurer ici de notre reconnaissance et de notre profond respect.

A Monsieur le Médecin-Colonel C. PEDOYA

Professeur Agrégé du Val-de-Grâce

Chef du Service des Maladies Infectieuses de l'H.M.I. du Val-de-Grâce

L'année passée dans son Service a été pour nous d'une grande richesse, nous en garderons un souvenir indélébile. Nous le prions de trouver ici la marque de notre gratitude et de notre respectueux dévouement.

A Monsieur le Médecin-Général-Inspecteur R. BORON

Professeur Agrégé du Val-de-Grâce

Directeur de l'Ecole du Service de Santé Militaire
et de l'Hôpital Militaire d'Instruction Desgenettes

A Monsieur le Médecin-Colonel GROSSETÊTE

Bactériologiste des Hôpitaux des Armées

Médecin-Chef de l'Hôpital Militaire d'Instruction Desgenettes

A nos Maîtres des Hôpitaux de Lyon
et de l'Hôpital Militaire d'Instruction du Val-de-Grâce

Ce travail qui a été inspiré par le Professeur R. GRANDPIERRE n'a pu être mené à bien que par la collaboration d'une équipe de chercheurs qui nous a fait le grand honneur de nous accueillir.

Nos remerciements vont d'abord à tous les membres de cette équipe et particulièrement au Docteur Y. ARNAUD ; avec patience, il nous a appris les techniques de mesures et bien souvent nous avons eu recours à ses connaissances, il nous a toujours accueilli à Saclay avec une camaraderie dont nous lui sommes très reconnaissant. Qu'il veuille bien trouver ici, une marque de notre gratitude et de notre respectueuse amitié.

Nous tenons à remercier tout particulièrement la municipalité de Bagnères-de-Luchon et surtout, Monsieur le Conseiller d'Etat COSTE-FLORET, Maire de Luchon.

Président de la Commission du Thermalisme au Ministère de la Santé Publique, il a fort bien compris l'intérêt de la recherche scientifique moderne dans le développement du thermalisme.

Il nous a fait le grand honneur de s'intéresser à notre travail, qu'il en soit ici très respectueusement remercié.

Notre gratitude va aussi à Monsieur BLANC, Directeur de l'Etablissement Thermal de Luchon. Au cours des deux campagnes de mesures que nous avons faites à la station, il nous a toujours accueilli avec bienveillance et a toujours fait l'impossible pour faciliter notre tâche. Nous avons admiré sa parfaite connaissance de l'histoire de la station et de ses installations.

Nous tenons aussi à remercier le personnel de l'Etablissement Thermal, auprès duquel nous avons toujours trouvé un précieux auxiliaire et dont l'amabilité n'a jamais été trouvée en défaut.

Que soient enfin remerciés, bien vivement, les fontaniers de l'Etablissement qui nous ont fait découvrir le labyrinthe des galeries où ils nous ont aidé, bien souvent, à dérouler les câbles de nos compteurs.

INTRODUCTION

Lorsque la radioactivité naturelle fut découverte au début du siècle, on n'eut pas à attendre bien longtemps pour que de nombreux auteurs relèvent dans les eaux minérales ce phénomène nouveau et mystérieux.

On voulu en faire la cause essentielle de l'action thérapeutique des eaux ne contenant guère de minéraux en solution.

Mais depuis quelques années, le développement des sciences et des techniques a mis la radioactivité à l'ordre du jour et le problème des eaux minérales radioactives, considérées comme agent thérapeutique, s'est considérablement compliqué.

Si l'action thérapeutique du radon n'est encore, sous bien des aspects, que du domaine de l'hypothèse, il n'en est pas moins vrai, que les techniques actuelles permettent d'utiliser plus efficacement les eaux radioactives puisqu'il est possible maintenant d'effectuer des mesures rapides et précises de la teneur en radio-éléments des eaux minérales et des gaz thermaux, enfin de surveiller efficacement leur emploi.

C'est dans le but de mieux connaître la radioactivité des eaux et des gaz thermaux à leur source, et surtout à leur utilisation, que de nombreuses recherches ont été faites, ces temps derniers à la station de Bagnères-de-Luchon, par une équipe de chercheurs dont nous avons fait partie et qui a été dirigée par le Professeur R. GRANDPIERRE.

Après avoir rappelé les grandes étapes de l'évolution des connaissances en matière de radioactivité thermique, nous envisagerons quelles sont les caractéristiques des eaux minérales radioactives.

Dans un deuxième chapitre, nous décrirons succinctement les appareils de mesure et les techniques de dosage des différents radio-éléments que l'on rencontre habituellement dans les eaux.

Au Chapitre trois, nous étudierons, après une brève description de la station de Bagnères-de-Luchon, cadre de cette étude, quelles sont les pratiques de cure et leurs techniques, plus particulièrement celles qui font appel à la radioactivité des eaux ou des gaz.

Nous donnerons dans un quatrième chapitre, les valeurs actuelles de la radioactivité des eaux et des gaz de Luchon, d'abord prises aux griffons, puis aux postes d'utilisation. A la fin de ce chapitre on trouvera le compte rendu de nos mesures personnelles, les conditions de mesure ayant changé depuis la campagne précédente.

Ayant mesuré la radioactivité aux postes de traitement, il est apparu comme nécessaire de contrôler la radioactivité fixée par un curiste au cours des pratiques de cure, ce sera l'objet du cinquième chapitre, où nous décrirons un moyen simple, que nous avons mis en œuvre, pour étudier le devenir du radon dans l'organisme.

Le sixième chapitre comportera une discussion des résultats trouvés et l'explication possible de phénomènes enregistrés à propos de la radioactivité des eaux de la station.

CHAPITRE PREMIER

LES EAUX MINÉRALES RADIOACTIVES

Les mémorables découvertes de la radioactivité naturelle faites au début du siècle par BECQUEREL, Pierre et Marie CURIE en France, par RUTHERFORD, RAMSAY et SODDY en Angleterre, conduisirent à la révision de plusieurs chapitres de la biologie et c'est à la suite de ces travaux que commença l'étude de la radioactivité des eaux thermales naturelles.

Il est cependant intéressant de constater qu'avant même la découverte des corps radioactifs, certains auteurs, tels que BOUCHARD, MOUREU et DESGREZ avaient déjà décelé dans les eaux, la présence de gaz auxquels ces radio-éléments donnent naissance.

Ainsi l'hélium fut mis en évidence dans les eaux thermales de Bagnoles-de-l'Orne, Cauterets et les Eaux-Bonnes.

C'est pourtant au savant anglais THOMSON, que revient le mérite d'avoir ouvert la voie aux recherches ultérieures en étudiant, en 1902, les eaux de Cambridge.

L'année suivante ELSTER et GEITEL découvraient la radioactivité des eaux de Bad-Nauheim.

Un peu plus tard, ADAMS découvrait pour la première fois l'émanation radioactive d'une eau de source.

Le monde entier allait alors s'intéresser au problème.

En Allemagne, HIMSTEDT (1904), ENGLER (1905), puis SIEVEKING (1907-1912) étudièrent la radioactivité des eaux ther-

males de Baden-Baden. Peu de temps après ELSTER et GEITËL mirent en évidence le radium dans les eaux de Bad-Nauheim.

ASCHOFF mesura en 1916, la radioactivité des stations thermales de Bad-Kreusnach et d'Heidelberg.

Au cours des mêmes années, d'importants travaux furent entrepris sur le territoire Austro-Hongrois.

MACHE (1904), MACHE et MEYER (1905), MACHÉ et BAMBERGER (1914), étudièrent les eaux thermales d'Autriche et s'attachèrent plus particulièrement à celles de Gastein.

En Amérique, BOLTHOOD détermina la radioactivité des sources de l'Ackansas, SCHLUNDT et MOORE (1909) étudièrent celle des sources chaudes de Yellowstone.

Les eaux de Nouvelle-Zélande furent, elles aussi, l'objet de mesures de la part de Mc LAURIN et WRIGHT, tandis que MANABE et ISCHITANI (1909) entreprirent des recherches sur l'aire thermale de Misasa au Japon.

En France, le premier travail d'ensemble est constitué par le mémoire présenté en 1904 à l'Académie des Sciences par P. CURIE et LABORDE, deux ans plus tard, un second mémoire relatait les résultats obtenus après dosage de la radioactivité d'une vingtaine de sources.

Les recherches de ces auteurs ont porté essentiellement sur les eaux minérales dites « indéterminées », c'est-à-dire très faiblement minéralisées et dont l'action thérapeutique, consacrée cependant par l'usage, demeurait difficilement explicable scientifiquement.

Il semble qu'alors, les défenseurs de l'hydrothérapie virent dans ce phénomène nouveau, le facteur déterminant possible des vertus thérapeutiques des eaux minérales.

De là découle peut-être, l'intérêt si grand de nombreux auteurs pour ce nouveau problème.

Toujours est-il, qu'après les travaux de P. CURIE et LABORDE, de nombreux chercheurs s'engagèrent dans la voie ainsi tracée et apportèrent leur contribution à l'étude de la radioactivité des eaux minérales ou thermales.

Il faut citer en premier lieu MOUREU et ses collaborateurs BIQUART et LEPAPE, qui publièrent une documentation complète

sur bon nombre de stations. C'est ainsi que LEPAPE étudia successivement, de 1909 à 1924, les eaux de Bagnères-de-Luchon, Vernet-les-Bains, La Bourboule, Royat et Saint-Nectaire.

En 1910, BROCHET, détermina la radioactivité des eaux de Plombières, déjà étudiée en 1904 par P. CURIE.

L'année suivante, en 1911, CHASPOUL et JAUBERT de BEAUJEU s'attachèrent à l'étude des eaux de Vals, alors que BERROIS travaillait à Saint-Amand.

L'émanation radioactive des eaux d'Evaux, fut étudiée en 1914 par NOGIER et CLUZET.

Après les années de guerre, les mesures reprirent, LOISEL et CASTELLAN travaillèrent au Mont-Dore en 1921, puis à Bagnols l'année suivante.

DANNE étudia les eaux de Barbotan, puis en collaboration avec JALOUSTRE, celles de Contrexeville. L'ouvrage de PIERY et MILHAUD « Les eaux minérales radioactives », paru en 1924, résumait l'ensemble des travaux effectués et des connaissances de l'époque.

Ainsi, dans la période correspondant aux trente premières années du siècle, on détermina la radioactivité des eaux et des gaz de presque toutes les stations thermales connues.

Nous avons vu que certains auteurs s'étaient attachés à l'étude des eaux dites « indéterminées » dont l'action ne pouvait alors être scientifiquement expliquée par leur minéralisation peu importante.

On vanta alors la radioactivité comme agent des vertus médicamenteuse des eaux minérales ou thermales et, comme l'écrivait CIGNOLINI « il n'y eut plus une seule station qui n'aspire à un tel blason et les électroscopes de haute précision, l'appareil de WULFF, étendirent ce certificat de noblesse à presque toutes les sources, parce que la radioactivité se révéla omniprésente. »

C'est pourquoi on proposa, surtout en Allemagne, de donner une définition des eaux radioactives. Ce fut une des tâches du Congrès Balnéologique de 1923 réuni à Salzuflen qui fixait à 365.10^{-10} Ci/l et 100.10^{-12} g/l, les teneurs en radon et en radium que devaient présenter les eaux qualifiées de radioactives.

Ces normes n'ont jamais prévalu en France, où cependant on a étudié non seulement les eaux thermales mais aussi les eaux froides, les gaz émanés de ces eaux et même les boues hydro-minérales formées d'une part de sédiments entraînés par les eaux et d'autre part, de différents micro-organismes qui peuvent présenter une radioactivité non négligeable (Dax ou Saint-Amand).

PIERY et MILHAUD avaient ainsi établi une classification des eaux minérales et thermales selon le critère de la radioactivité.

Notons qu'il ne s'agissait à l'époque, que de la radioactivité globale sans préjuger des différentes activités alpha, bêta ou gamma.

Cette radioactivité d'une source était souvent appréciée en horo-radioactivité, c'est-à-dire en mesurant l'activité des eaux et des gaz de la source en une heure de temps.

Dès cette époque on remarquait déjà que la radioactivité des gaz n'était pas parallèle à celle des eaux dont ils s'échappent.

Voici donc quelles étaient les connaissances et les idées qui prévalaient dans les premières décades de ce siècle.

Mais la fin de la seconde guerre mondiale avec les bombardements atomiques sur le Japon, les travaux immenses effectués en physique nucléaire ont fait poser le grave problème de l'exposition des individus aux rayonnements des matières radioactives, de leur inhalation et même de leur ingestion.

Depuis quelques années, avec le rythme impressionnant des essais thermonucléaires, cette question se pose tout particulièrement.

En médecine, les examens radiologiques si fréquents aujourd'hui, la radiothérapie et la cobaltothérapie posent ce même problème et l'opinion publique s'est émue des accidents que la grande presse rapportait.

On a alors essayé de chiffrer les teneurs dont l'accumulation dans l'organisme pouvaient présenter un réel danger.

De très nombreux auteurs se sont penchés sur ce problème et parmi les travaux se rapportant plus particulièrement aux eaux minérales et thermales, on peut citer ceux de OSHIMA (1949), IWASAKI (1950), ARNDT et KURODA (1951-53), KURODA (1954), BELIN (1959), KAYSER (1962).

D'autre part les progrès continuels de la physique et de la chimie nucléaires ont permis d'étendre les recherches sur l'origine de la radioactivité des eaux thermales ou minérales froides.

Le radium et le radon n'étaient plus seuls en cause.

Les investigations s'étendaient à l'uranium et à tous ses produits de filiation jusqu'au plomb et au polonium ou à la famille du thorium et de l'actinium.

La notion de radioactivité globale que retenaient les auteurs anciens est apparue ensuite comme tout à fait insuffisante et il est indispensable aujourd'hui de distinguer les trois types d'activité alpha, bêta ou gamma n'ayant ni la même origine ni les mêmes propriétés de pénétration et d'ionisation et par conséquent ne faisant pas courir les mêmes risques à l'individu exposé.

Il ne s'agit donc plus seulement de mesurer une activité globale, il faut aussi connaître ses constituants. A côté du problème de mesures quantitatives existe, par conséquent, un problème d'analyses qualitatives aussi complexe et indispensable à résoudre. Mais les progrès accomplis au cours de ces dernières années dans les méthodes de mesure de la radioactivité des eaux naturelles et les nombreuses recherches physiques et chimiques effectuées sur les corps radioactifs telluriques ont montré que la question était de plus en plus délicate et complexe.

Le Congrès d'Hydrologie de Lacco-Ameno d'Ischia, en 1958, a tenté d'en faire le point, apportant bien des précisions.

Il a montré aussi les lacunes importantes existant dans les applications médicales des eaux radioactives et des gaz qui en émanent.

En effet, si la découverte de la radioactivité des eaux naturelles remonte à plusieurs dizaines d'années, l'emploi thérapeutique de ces eaux à, jusqu'à présent, été tout à fait empirique et ce n'est que depuis quelques années seulement que l'on commence à poser des indications thérapeutiques particulières aux eaux radioactives.

Les chercheurs et les médecins thermaux s'accordent pour reconnaître aux eaux radioactives une action sédative sur les algies diverses et particulièrement sur celles d'origine rhumatismale ou goutteuse.

Une action locale tissulaire qui diminue l'œdème périarticulaire et favorise la mobilisation des jointures, leur est aussi attribuée.

Enfin, elles procurent une amélioration de l'état général, une amélioration des fonctions de nutrition et une nette sensation de relaxation.

SCHEMINSZKY et HENN ont montré que le radon dissous dans les eaux radioactives avait des propriétés cortisone-mimétiques qui pourraient fort bien expliquer son action bénéfique en rhumatologie.

MESSINI et ses collaborateurs ont montré que le cartilage articulaire fixait le radio-soufre et qu'il était incorporé sous forme de radio-sulfate inorganique dans l'acide chondroïtine sulfurique, composant primordial du tissu cartilagineux.

Il apparaît par conséquent indispensable de connaître la composition en radio-éléments des eaux employées comme agent thérapeutique, tout comme il faut connaître exactement la composition chimique d'une drogue.

De la connaissance exacte d'une eau minérale ou thermale vient ensuite un meilleur emploi et de meilleures indications thérapeutiques. Mais comme nous l'avons vu, se pose aussi un problème de mesure de l'activité totale reçue par le curiste au cours d'une pratique thermale.

Au Congrès d'Hydrologie d'Aix-les-Bains en 1964, GRAND-PIERRE, ROUBAULT et JURAIN montraient que la complexité du problème de la radioactivité des eaux thermales était en partie liée au fait que le monde médical avait pris en considération la fixation possible par des malades, soumis à des traitements de cures thermales radioactives, de concentrations en radioéléments supérieures à celles qui sont admises par la Commission Internationale de protection contre les radiations ionisantes, pour les individus travaillant dans des laboratoires ou des usines traitant des matériaux radioactifs.

Caractéristiques des eaux radioactives.

Le nombre des différents radio-éléments présents dans une eau est, bien entendu, très variable. Il peut s'agir d'éléments légers d'origine atmosphérique comme le tritium ou le carbone 14, ou d'éléments dus aux retombées radioactives à la suite de

désintégrations provoquées ou accidentelles et qui constituent à eux seuls un problème important et spécialisé. A côté de ces éléments légers, il existe des radio-éléments telluriques lourds de la famille de l'uranium, du thorium ou de l'actinium qui sont susceptibles d'être entraînés par les eaux de ruissellement ou par les eaux souterraines.

C'est ainsi que LEPAPE et LABORDE trouvaient du radium dans les résidus d'évaporation des eaux de Vichy et que ELSTER et GEITEL caractérisaient le radio-thorium en association avec le radium dans les eaux de Keuznach.

Une eau radioactive contient en général un certain nombre de radio-éléments différents quant à leurs propriétés physiques, chimiques et peut-être biologiques. Les minerais radioactifs très anciens, tels que ceux d'uranium qui ont dix millions d'années, sont dits en équilibre. Chaque élément d'une même famille subit dans un temps donné le même nombre de désintégrations.

Si l'on connaît la teneur du minerai en un élément, on peut, par conséquent, connaître la teneur en chaque élément de cette même famille.

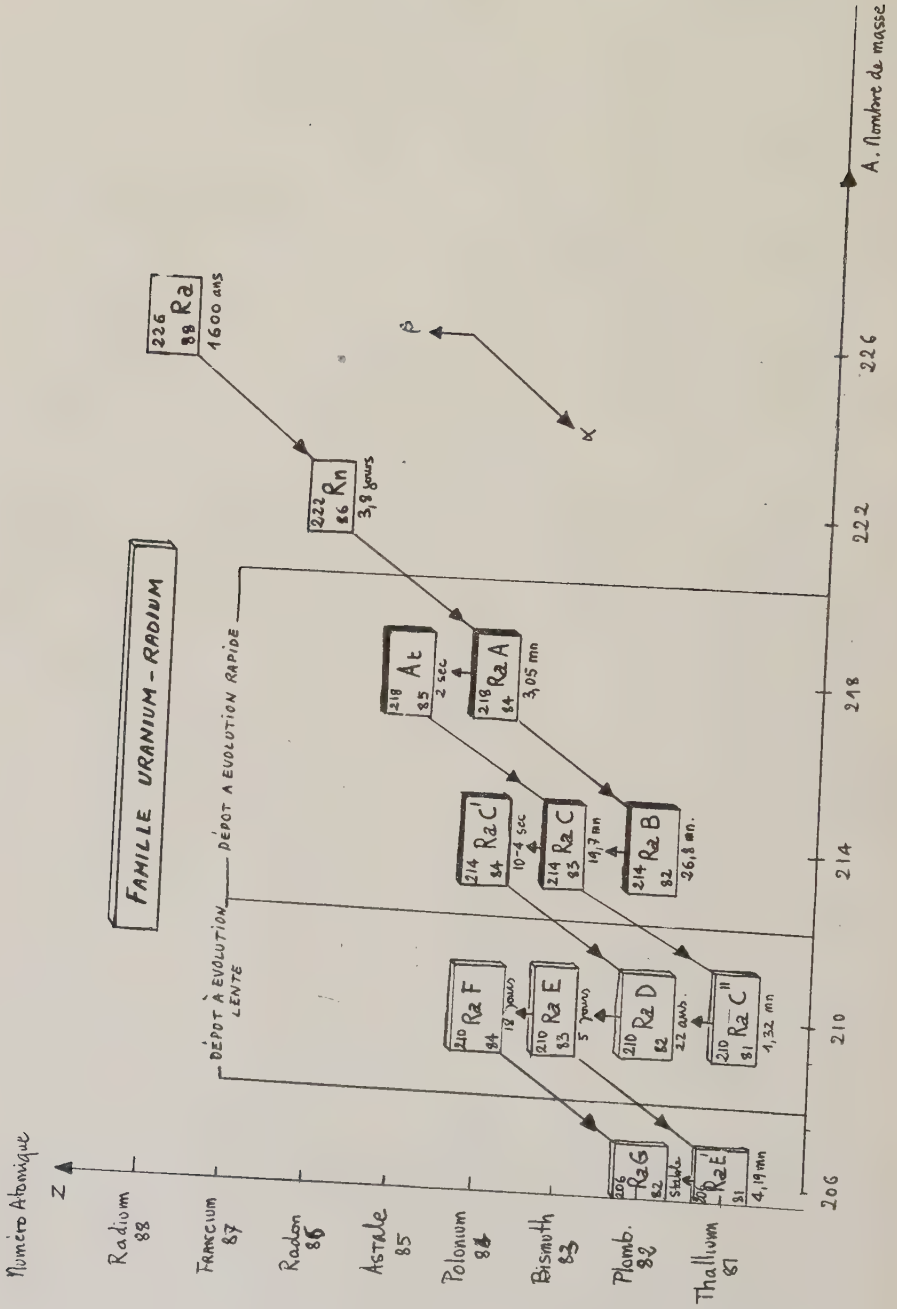
Ce sont les éléments de la famille de l'uranium et tout spécialement le radium et ses descendants qui sont le plus souvent à l'origine de la radioactivité des eaux minérales. Cependant le thoron, émanation gazeuse de la famille du thorium a fait l'objet de nombreuses mesures dans différentes aires thermales, mais du fait de sa très faible période, de 54 sec, et de sa très grande vitesse de diffusion dans l'air, il ne présente pas un intérêt aussi grand que le radon, émanation gazeuse du radium.

La figure n°. I montre comment la désintégration d'un élément conduit à son descendant.

Nous avons porté en abscisse le nombre de masse A , en ordonné le numéro atomique Z .

Par émission α , le déplacement a lieu obliquement de droite à gauche, l'élément recule de deux cases dans la classification de MENDELEIEV ; par désintégration β le déplacement a lieu verticalement.

La solubilité dans l'eau de ces différents éléments n'est pas identique, elle dépend de plusieurs facteurs chimiques ou physiques tels que pression, acidité ou température.



En particulier si la radioactivité est due à un gaz, comme c'est le cas très fréquemment, celui-ci est d'autant plus soluble que la température est plus basse. Il est donc normal de constater que les eaux hyperthermales possèdent une concentration en radon dissous beaucoup plus faible que les eaux non thermales provenant de couches géologiques comparables.

MACHE montrait, cependant, qu'en certains cas, la température élevée d'une eau pouvait provoquer une libération du gaz occlus dans la roche.

A la suite de mesures effectuées en Algérie, ROUBAULT avait signalé en 1936 que les eaux les plus radioactives étaient en général les plus froides.

Les mêmes constatations furent faites dans les Pyrénées par G. et P. URBAIN, et des dosages de radon pratiqués dans les Vosges, en Vendée et en Bretagne par G. JURAIN de 1960 à 1962, ont montré que les eaux thermales d'un massif granitique ont une radioactivité due au radon plus faible que les eaux froides circulant dans ce massif.

Un élément soluble dans telle condition peut précipiter dans telle autre, cela revient à dire, que les eaux traversant des roches contenant des radioéléments ne pourra dissoudre que certains de ces éléments.

Dans le cas de terrains uranifères, l'équilibre ne pourra s'établir faute de temps, d'une part, et faute de solubilité d'un ou de plusieurs éléments de la famille d'autre part.

CHAPITRE II

MÉTHODES D'ÉTUDE DES EAUX ET DES GAZ RADIOACTIFS

Nous avons dit que le plus souvent ce sont les gisements uranifères qui donnent aux eaux thermales leur radioactivité.

De là on déduit facilement que nous trouverons en solution dans les eaux radioactives à l'émergence non seulement l'uranium mais aussi ses produits de filiation, radium, radon, etc...

DOSAGE DE L'URANIUM

De nombreux chercheurs se sont intéressés depuis 1935 au dosage de l'uranium dans les eaux. Il faut citer les travaux de HERNEGGER et KARLICK, de HOFFMANN et NAKASASHI, de GRIMALDI enfin.

Toutes ces méthodes reposent sur le dosage de l'uranium par fluorométrie après concentration.

La concentration de l'uranium se fait par passage de l'échantillon sur des résines échangeuses d'ions. Les résines sont ensuite séchées et grillées. On reprend à l'acide nitrique N.

Cette solution est évaporée lentement puis reprise par l'acide nitrique 3N. On extrait par un solvant les traces de nitrate d'uranyle et l'uranium est repris par une solution de carbonate d'ammonium à 20 %.

Une partie aliquote de cette solution est évaporée dans de petites coupelles de platine où l'on fond un mélange de fluorure de sodium et de carbonate de sodium.

Cette perle est ensuite passée au fluorimètre et comparée à une série d'étalons ayant subi le même traitement.

Les teneurs en uranium des eaux sont généralement très faibles et d'ailleurs très variables.

En Europe centrale, HOFFMANN trouvait $48 \mu\text{g/l}$ d'uranium à la source Cartiellieri de Franzensbad.

En France, dans les Vosges, JURAIN n'a recueilli que des valeurs beaucoup plus faibles, entre 2,5 et $7 \mu\text{g/l}$.

Cependant dans le Massif Central on a relevé jusqu'à $1.500 \mu\text{g/l}$, dans des eaux situées près de gîtes uranifères.

DOSAGE DU RADON

On peut facilement détecter le radon dissous dans une eau par ses produits de filiation en utilisant une sonde constituée par un compteur de GEIGER-MÜLLER pour rayonnement β et γ .

Ce tube compteur est associé au circuit classique d'un appareil de prospection de type courant. On obtient seulement un dosage semi-quantitatif.

Le dosage quantitatif est beaucoup plus long et délicat.

Il utilise comme principe fondamental plusieurs types de phénomène :

Soit le pouvoir ionisant des particules α émises par le radon et ses produits de filiation.

Soit une numération des particules α à l'aide d'écrans scintillants.

Soit enfin, une numération des particules β émises par les produits de filiation tels que le bismuth 214.

On peut aussi arriver à doser le radon par l'étude du spectromètre γ de certains de ses descendants qui sont émetteurs γ .

1° Chambre à ionisation.

La chambre à ionisation est l'appareil le plus anciennement connu, citons en France celui de CHENEVEAU-LABORDE qui fut le plus utilisé.

Le courant d'ionisation produit par les particules α émises par le radon et ses descendants est mesuré en appréciant la vitesse de déplacement de la feuille d'or d'un électromètre.

En comparant cette vitesse à celle que donne l'activité d'une source étalon de radium on peut calculer l'activité de la source présente.

Ces chambres à ionisation permettent des mesures précises, mais elles sont fragiles et d'un emploi difficile en dehors du laboratoire.

Compteurs à scintillations.

Pour le dosage du radon atmosphérique, la meilleure méthode, et la plus facile à mettre en œuvre, est celle qui repose sur le phénomène de scintillation du sulfure de zinc activé à l'argent sous l'impact du rayonnement α produit par le radon et ses descendants.

Cette méthode utilise l'appareillage et la technique qui fut mise au point par DAMON et HYDE (1952) et par VAN DILLA (1955).

Le sulfure de zinc recouvre l'intérieur d'un ballon à fond plat de 125 ml.

Le vide préalablement fait, on introduit dans le ballon l'air filtré pour retenir poussières, aérosols et humidité. Le ballon contenant l'échantillon gazeux à étudier est alors placé dans une enceinte obscure sur un détecteur de scintillations constitué d'un photomultiplicateur avec préamplificateur.

Un discriminateur et une échelle de comptage complètent l'ensemble.

Le taux de comptage permet de calculer ensuite la concentration en radon en tenant compte du rendement de comptage des ballons, et des facteurs d'accumulation des émetteurs α entre le moment du prélèvement et celui de la mesure, enfin du facteur de destruction du radon dans le même temps.

C'est pourquoi on ne commence le comptage qu'après trois heures, le radon étant en équilibre avec ses produits de filiation émetteurs α , les radiums A et C'.

L'erreur relative est inférieure ou égale à 40 % pour des concentrations de $1,8 \cdot 10^{-4}$ nCi/l d'air.

Pour doser le radon dans l'eau, on pratique son extraction à partir d'un échantillon de 250 ml d'eau en y faisant barboter de l'air que l'on a pris soin de filtrer.

Cet air est ensuite recueilli dans un ballon scintillant de un litre que l'on dispose enfin sur le photomultiplicateur.

On rejette l'opération plusieurs fois jusqu'à ce qu'un taux de comptage nul indique que tout le radon dissous a été extrait.

On commence les mesures au bout de trois heures, lorsque l'équilibre radioactif est atteint.

Dosage par dépôt sur filtre.

Lorsque l'on veut mesurer des doses très faibles de radon, de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$ nCi/l ou même moins, il faut avoir recours à des méthodes bien plus sensibles.

Une méthode vingt fois plus sensible mais restant facile à mettre en œuvre consiste à recueillir le dépôt actif du radon sur un filtre et à mesurer son activité β .

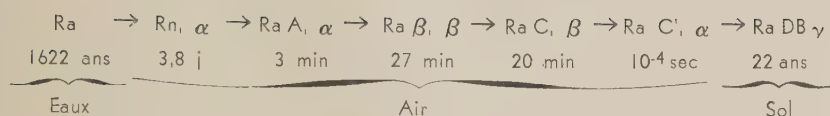
Il existe dans les galeries de captage des eaux radioactives et dans le vaporanium de Luchon, un brouillard formé de gouttelettes sur lesquelles se fixent les produits de filiations du radon créés à l'état ionisé.

Plus le brouillard est épais et plus la proportion de descendants du radon fixée est importante, elle peut même atteindre 80 % pour une concentration en particules de 10^{-15} g de particules par mètre cube.

L'aérosol ainsi formé se charge rapidement en produits de filiation du radon, car ils ont une vie brève par rapport à celle du radon. Ces éléments radioactifs sont le radium A ou polonium 218 dont la période est de trois minutes, le radium B ou plomb 214 de période égale à 27 minutes, le bismuth 214 correspondant au radium C ayant une période de 20 minutes et enfin le Radium C' ou polonium 214 dont la période est très courte, de 10^{-4} secondes.

La filiation s'arrête au plomb 210 ou radium D ayant une période de 22 ans. Sa concentration est toujours très faible.

Il existe donc dans l'atmosphère humide et confinée des galeries de captage des eaux thermales, un équilibre radioactif du type.



Si on filtre cet air on retiendra sur le filtre les produits de filiation du radon, radiums A, B, C et C', le radon, lui, passera au travers du filtre.

Un aspirateur d'un débit horaire de trois mètres cubes permet de recueillir le dépôt actif sur un filtre de cellulose amiantée.

Après trois heures d'aspiration on a atteint l'équilibre, on compte alors l'activité β des radiums B et C déposés, grâce à un compteur de Geiger Müller.

On effectue une correction relative au temps d'aspiration et une seconde relative à la décroissance du dépôt actif entre l'arrêt de l'aspiration et le moment de la mesure. L'étude de la cinétique radioactive du système donne ces correction et permet de calculer en nCi la quantité totale de dépôt actif par mètre cube d'air analysé et de remonter à la concentration en radon des sites étudiés.

Cette méthode a donné des résultats concordants avec ceux fournis par la méthode des ballons scintillants, ce qui prouve que dans l'atmosphère étudiée l'équilibre radioactif est atteint entre les produits de filiation du radon.

Les teneurs en radon à étudier varient dans une large mesure, mais on doit attendre de cette méthode une limite inférieure de l'ordre de 10⁻⁵ nCi/l d'air avec une erreur relative de ± 20 % si le débit du gaz analysé est assez grand (3 m³/heure).

DETECTION DES ÉMETTEURS γ DESCENDANTS DU RADON

Certains éléments descendants du radium ou du radon émettent en se désintégrant des photons γ, il en est ainsi des produits du dépôt actif à évolution rapide tels que le 214 Bi.

Principe.

Lorsqu'un photon γ pénètre dans un cristal, il engendre des électrons (photo-électrons, électrons compton, électrons de paires).

Pendant leur parcours dans la matière, ces électrons cèdent leur énergie en donnant des photons lumineux que reçoit un photomultiplicateur, celui-ci les transforme en impulsions électriques. Les impulsions produites ont une hauteur proportionnelle à l'énergie cédée par les photons qui leur ont donné naissance.

Ces impulsions émises sont comptées par un analyseur et classées selon leur grandeur sur le spectrogramme. Lorsque toute l'énergie du photon est absorbée par le cristal on a un pic d'absorption totale. Lorsque l'absorption de l'énergie n'est que partielle on a sur le spectrogramme une distribution compton.

D'autres pics peuvent apparaître, pic d'annihilation, pics parasites, provoqués par l'absorption de photons X ou γ dus à l'interaction des photons émis par la source avec les matériaux qui l'entourent.

Ainsi la localisation sur l'axe des abscisses du spectrogramme des raies ou pics photoélectriques, permet de déterminer l'énergie des rayons γ détectés et par conséquent d'identifier les éléments responsables de leur émission puisque un radio-élément émetteur γ se caractérise par une ou plusieurs raies bien définies.

D'autre part, la surface des pics est proportionnelle au nombre de photons initiaux qui ont réagi dans le cristal : ceci constitue l'aspect quantitatif de la spectrométrie γ .

CHAPITRE III

LES EAUX ET GAZ THERMAUX DE LUCHON, LEUR UTILISATION THÉRAPEUTIQUE

La station hydrothermale de Luchon est connue depuis longtemps, puisque, d'après STRABON, sa fondation remonte à l'an 19 avant J.C.

Ses thermes connurent vite une grande renommée, PLINE et HORACE citent élogieusement ses eaux ; d'ailleurs faut-il aller chercher une preuve plus loin que la fière devise de la ville : « Balneum Lixonense post Neapolitense primum ».

A la chute de l'empire romain, les thermes de Luchon tombèrent dans une longue léthargie, et ce n'est que beaucoup plus tard, vers le milieu du XVIII^e siècle que, sous l'égide de l'intendant de la province, le baron d'ETIGNY, des travaux de captage des sources et de reconstruction des thermes furent entrepris. C'est, comme pour beaucoup d'autres stations hydro-thermales françaises, avec l'avènement du second Empire que Bagnères-de-Luchon reprit tout son lustre, et petit à petit et après de fort nombreux remaniements, la station connu son jour actuel.

Du point de vue géologique, la chaîne des Pyrénées présente une complexité extrême, mais si les spécialistes discutent encore sur certains aspects fondamentaux de l'architecture pyrénéenne, du moins les rapports entre les eaux thermo-minérales et les massifs rocheux dont elles émergent sont assez bien déterminés.

De très nombreux auteurs ont depuis fort longtemps étudié la géologie de l'aire d'émergence luchonnaise et grâce aux tra-

vaux de LAUNAY, CARALP, BARDET, P. URBAIN et surtout plus récemment de G. ASTRE et de CAUJOLLE, le gisement est aujourd'hui bien connu.

Il existe à Luchon deux types d'eaux médicinales suivant la classification habituellement admise : des eaux radioactives proprement dites et des eaux sulfurées sodiques chaudes.

A certains griffons sourdent des eaux provenant du mélange de ces deux types.

LES EAUX SULFURÉES SODIQUES

Les eaux sulfurées sodiques ont été rattachées par ASTRE, à la série de la Maladetta. L'aire d'émergence de Luchon et son satellite de Ravi représentent de très loin l'élément fondamental de la série sulfurée de la Maladetta ; le reste des eaux émerge en territoire espagnol aux sources de Tredos dans le Haut Val d'Aran, de Los et d'Arties, enfin aux sources de Londenvieille dans le Haut Louron.

L'émergence des eaux de Luchon est conditionnée par les importantes fibres granitiques qui bordent à des distances variables, la zone nord du massif de la Maladetta, ces montées éruptives sont à l'origine des eaux, les cassures de ces fusées granitiques leur permet d'émerger.

Il n'est pas encore permis de répondre à la question du mode de production intime des eaux. Certains auteurs tels que Armand GAUTIER pensent qu'elles représentent le produit de la lente distillation de granites en cours de réchauffement, d'autres estiment qu'elles sont le fruit d'infiltrations très profondes à partir de zones lacustres de haute altitude.

Quoi qu'il en soit, les eaux portent « le message minéral de terrains granitiques », comme le dit F. CAUJOLLE, de terrains profonds puisqu'il n'existe en elles aucun des éléments des couches superficielles mais que par contre, elles rapportent du matériel de fond : le soufre réduit, les sulfures, la silice et les silicates, enfin une très riche minéralisation oligoélémentaire.

Le capital thermo-minéral de Luchon ne se limite pas à l'ensemble sulfuré sodique. En effet, d'abondantes sources froides d'épuisement superficiel de granit à lépidolithes radifères

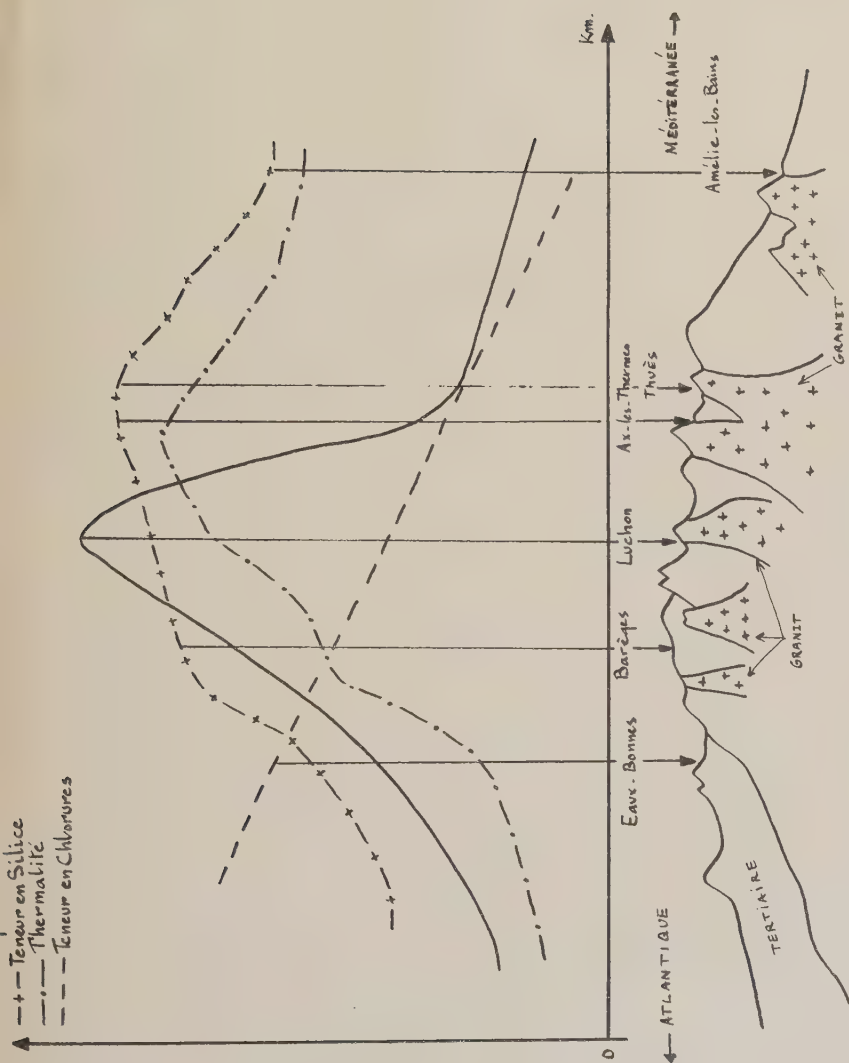


Fig. 2. — Caractéristiques des eaux sulfatées pyrénéennes (d'après Caujolle)
Grâce à sa situation géographique Luchon présente à des degrés divers toutes les caractéristiques des eaux sulfatées pyrénéennes. En particulier, l'indice de sulfuration élevé n'est l'apanage que des stations situées au centre de la chaîne montagneuse.

émergent à la base de la montagne de Superbagnères, longtemps ces sources furent délaissées, mais la science moderne leur donna un lustre nouveau, puisque ce sont des sources chimiquement très pures mais riches en émanation du radium.

Si du point de vue géologique on peut diviser les cent quinze griffons qui donnent à la station de Luchon une richesse thermo-minérale exceptionnelle, la classification devient plus difficile lorsqu'on envisage, comme critère de classification, les propriétés chimiques ou même la radioactivité des eaux.

Les travaux de CAUJOLLE et de ses collaborateurs ont néanmoins permis d'établir la classification suivante, fondée sur les propriétés physico-chimiques des eaux.

a) Le premier groupe appelé « Groupe Nord » est caractérisé par une forte sulfuration, en particulier pour la source Bayen, une thermalité élevée, à plus de 50°C pour la plupart des griffons, un pH alcalin voisin de 8,50.

Ce groupe comprend les griffons suivants :

Nord supérieur :

Richard
Azémar
Reine
Grotte
Bayen

Nord inférieur :

Romains
Grotte inférieure
Richard inférieur
Burgalat.

b) Le groupe central possède d'une part des eaux non sulfurées et radioactives, d'autre part des eaux de sulfuration variable et moins radioactives. Toutes ces eaux ont une thermalité en général moins élevée.

Ce petit groupe comprend les griffons suivants :

Tièdes du Sud
Lepape
Moureux.

c) Le groupe « Sud » doit, en fait, être considéré comme une expansion des captages du groupe Nord, sollicitée par les besoins accrus de l'établissement thermal en eau sulfurée.

Ce groupe comprend les sources :

Saule
Prés
Bordeu

d) Signalons enfin un dernier groupe de sources de thermalité et de sulfuration variable qui comprend les griffons :

Blanche
Etigny
Ferras
Enceinte

Ce groupe porte le nom d'Enceinte.

Le débit quotidien des sources luchonnaises atteint 450 à 500 m³, avec des fluctuations saisonnières, la période des hautes eaux se situant entre Mars et Août.

A ces chiffres, il faut ajouter les 500 m³/jour de la source François, peu sulfurée et tiède, qui sert à refroidir l'eau des douches et des bains.

Comme toutes les eaux sulfurées sodiques des Pyrénées, les eaux de Luchon ont une minéralisation assez faible, de l'ordre de 30 à 35 ou 40 cg/litre d'extrait sec, en moyenne.

Le soufre s'y trouve sous forme réduite, représenté par des sulfhydrates de sodium en équilibre avec des sulfures neutres et particulièrement des monosulfures.

On trouve aussi une certaine quantité d'hydrogène sulfuré libre. Des éléments particulièrement oxydés complètent les composés sulhydriques à l'état d'ions thiosulfuriques et d'ions sulfuriques.

Le caractère majeur de ces eaux luchonnaises réside dans leur instabilité et leur très rapide altération à l'air.

Les processus d'oxydation sont les plus importants après l'émergence, mais la formation d'hyposulfites est possible au cours du trajet ascensionnel des eaux par mélange à des eaux de surface qui elles, apportent l'oxygène moléculaire en même temps que l'anhydride carbonique.

Ce phénomène donne parfois à l'eau thermale, selon la grosseur des particules du floculat, une teinte opalescente. C'est le phénomène du blanchiment des eaux.

Au total, les eaux sulfureuses de Luchon, peuvent, d'après la prédominance de leurs sels, être divisées en quatre sous-groupes :

- Les sulfurées fortes.
- Les sulfhydriquées.
- Les hyposulfitées.
- Les blanchissantes.

En fait la minéralisation des eaux sulfurées sodiques de Luchon ne se résume pas au soufre et des analyses fines ont permis de mettre en évidence de nombreux « groupements mineurs ».

Par spectroscopie dans l'U.V., BRUSTIER a constaté dans les barégines luchonnaises, des traces de fer, potassium, aluminium, magnésium, calcium, silicium, gallium, phosphore et même de titane, de plomb et d'antimoine.

LES EAUX RADIOACTIVES

S'il est délicat de donner une classification satisfaisante des eaux de Luchon en se fondant sur le critère chimique, il l'est encore bien d'avantage s'il on veut essayer de classer les griffons en fonction de leur radioactivité tout en les laissant dans un ensemble cohérent du point de vue géologique et chimique.

En fait, grâce aux travaux de LEPAPE, on peut distinguer trois groupes de griffons :

- a) Les eaux sulfurées hyperthermales et non radioactives.
- b) Les eaux hyposulfurées, hypothermales et légèrement radioactives.
- c) Enfin les eaux non sulfurées, tièdes ou froides mais radioactives.

Nous avons vu que les eaux naturelles froides étaient souvent plus radioactives que les chaudes, il en est ainsi à Luchon (fig. 3) et LEPAPE observait que la radioactivité des eaux luchonnaises variait en général en fonction inverse de la température d'une part et de l'indice de sulfuration d'autre part.

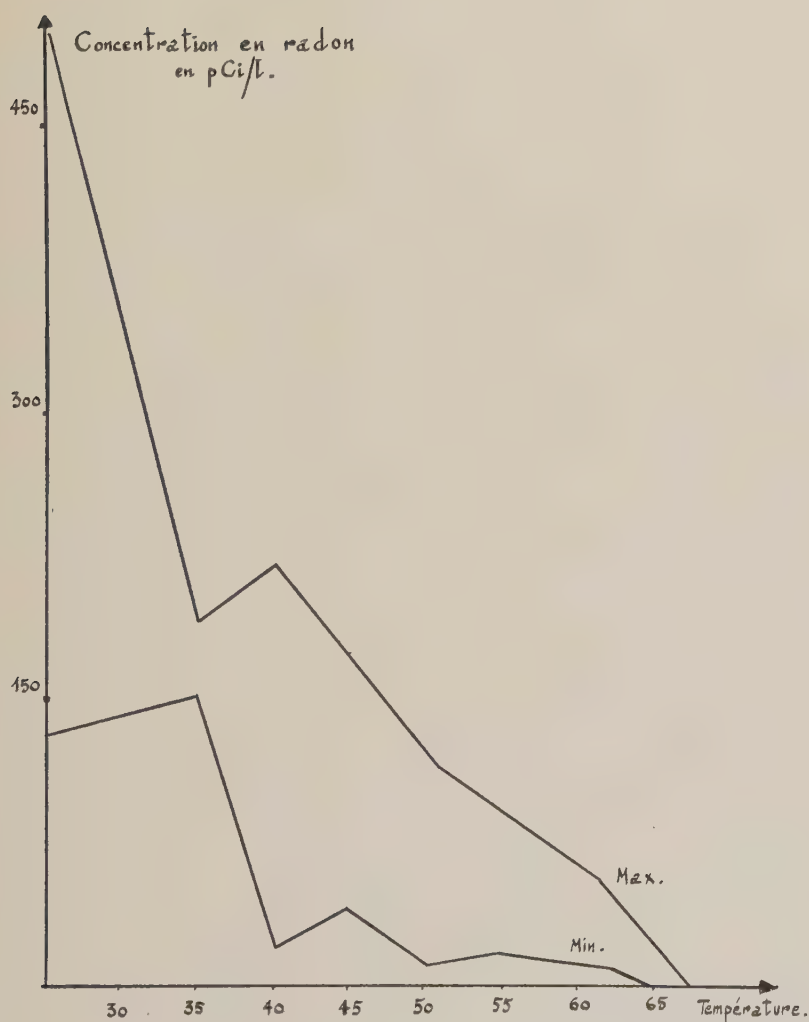


Fig. 3. — Teneur en radon des eaux thermales de Luchon en fonction de leur température (d'après L. Moret, 1946).
On voit la chute très importante de la concentration en radon de 25 à 40°.

Ce phénomène peut s'expliquer par l'origine géologique des eaux, dont nous avons vu qu'elle était double.

En effet, l'arête dorsale des Pyrénées est formée par une immense masse ancienne qui s'incline progressivement, suivant le grand axe de la chaîne d'Est en Ouest ; des formations plus jeunes se sont développées sur ces assises anciennes, précisément dans la zone Ouest où leur plongée est plus accentuée.

La position de Luchon permet aux eaux profondes, sulfurées sodiques, siliceuses et chauches d'émerger sans avoir à traverser de couches récentes, « la roche en place livre directement l'eau avec ses attributs profonds sans grands remaniements superficiels ». (CAUJOLLE)

Les eaux froides sont, elles, non sulfurées, mais leur passage à travers les couches radifères leur confère leur radioactivité.

Le mélange en proportions variables selon les griffons, de ces deux eaux, suffirait à expliquer les remarques de LEPAPE.

Les eaux purement radioactives de Luchon proviennent des sources :

- LEPAPE 1
- LEPAPE 2
- Moureu
- Bosquet n° 8
- Sengez 1
- Tiède du Sud.

Les eaux moins radioactives et plus ou moins sulfurées appartiennent au groupe Bordeu et en partie au groupe Bosquet.

Il existe ainsi une vingtaine de sources radioactives à divers degrés.

Toutes ces sources font partie du groupe central et du groupe Sud défini plus haut.

Le griffon Bosquet 8 se distingue de ceux de son groupe par son absence de sulfuration signalée par CAUJOLLE, en 1955, et confirmée en 1958 par OUSTRIN.

Par conséquent comme le dit CAUJOLLE, « le griffon n° 8 doit être séparé du groupe Bosquet, nettement sulfuré, pour être réuni aux Tièdes du Sud, non sulfurées mais radioactives ».

Le griffon Lepape 1 a le débit le plus important des eaux radioactives luchonnaises. Il naît dans la partie Ouest de la galerie François, après la galerie de recoupement.

Il donne une eau très limpide, de température stable aux environs de 30°C.

Son indice de sulfuration varie entre 0,1 et 1 ; son pH oscille entre 6,4 et 7,3.

Le griffon est aujourd'hui bétonné et l'eau s'écoule dans des canalisations de matière plastique inaltérable, par la galerie de recoupement et la galerie Sengez, dans le réservoir des eaux radioactives.

Le griffon Lepape 2 est le plus radioactif ; il jaillit d'une faille de granit de la galerie de recoupement.

Sa température est remarquablement fixe, de 29,5°. Son indice de sulfuration était de 2 en 1957, d'après les longues mesures d'OUSTRIN.

L'accès direct au griffon est aujourd'hui impossible car le griffon est lui aussi cimenté, comme d'ailleurs tous les griffons souterrains de Luchon, et les eaux s'écoulent par canalisation vers le réservoir des eaux radioactives en suivant la galerie Sengez.

La source Moureu a un débit bien moindre ; sa température la classe dans les eaux tièdes avec 27°. Son indice de sulfuration est minime, inférieur à 0,75.

Le griffon naît tout au fond de la galerie François à sa terminaison Ouest et les eaux, captées dès l'émergence vont par la galerie François et la galerie Bordeu à la buvette, et par trop plein alimenter le réservoir des eaux radioactives.

La source Tiède du Sud donne une eau de température instable, le débit de la source est assez faible et les eaux sont utilisées pour les bains Bordeu.

Enfin, Sengez 1 est un griffon de débit plus important, dont la sulfuration est presque nulle, la température au delà de 30°. Il est situé tout près de la galerie Sengez, dans la galerie du Saule à Etigny.

Les eaux s'accumulent dans le petit réservoir Bordeu, et sont par conséquent utilisées avec des eaux sulfurées, il semblerait plus

logique de les acheminer non pas avec les eaux du groupe Bosquet mais avec les radioactives pures dont les canalisations passent tout près dans la galerie Sengez.

LES PRATIQUES THERMALES

Les pratiques thermales de Luchon sont extrêmement nombreuses et cependant, l'Etablissement Thermal sans cesse modernisé, apparaît essentiellement comme une clinique O.R.L.

Les indications thérapeutiques de la station sont en effet, les affections chroniques des voies respiratoires et de l'oreille moyenne, à telle enseigne que LANDOUZY disait de Luchon qu'elle était : « la station thermale de la surdité ». Cependant, à côté de ces nombreuses activités O.R.L., la station de Bagnères-de-Luchon est aussi, et de plus en plus, un grand centre de rhumatologie, nous y reviendrons tout à l'heure.

Le traitement des affections chroniques des voies respiratoires et tout particulièrement des voies supérieures, bénéficie en effet d'installations modernes et originales.

Il faut citer les humages dont les salles ont été refaites entièrement en 1961, et qui utilisent plusieurs eaux sulfurées sodiques :

Saule, dénomination donnée à un mélange d'eau provenant de douze griffons, dont les Saules 2, 3 et 4 et de plusieurs autres émergeant au vaporarium :

Bordet 6
Moissan
Molinéry 9, 5 et 1
Innominé du Vaporarium
Molinéry 11 et 12
Mineurs.

Les eaux de ces griffons ne sont pas radioactives à l'émergence, mais le deviennent légèrement par la suite, lors de leur cheminement dans le vaporarium et les galeries.

Bordeu, est aussi composée de l'eau de plusieurs griffons différents, les griffons Bordeu, les griffons Bardet de 1 à 4, le griffon Saule n° 1 et enfin Bosquet 8 qui est radioactif.

Enfin, arrivent aux humages pour les pratiques de cure, les eaux des sources Blanche et Reine, sulfurées sodiques, très légèrement radioactives à l'utilisation.

Les humages se font grâce à des appareils individuels de matière plastique inaltérable au soufre et qui sont la propriété du curiste.

Cette technique de cure est unique et Luchon peut en revendiquer l'exclusivité grâce aux propriétés des eaux.

Les Thermes comprennent aussi des salles de nebulisation, d'irrigation nasale, de pulvérisation, d'aérosols.

Le catarrhe chronique de la trompe d'Eustache et de l'oreille moyenne, les otorrhées tubo-tympaniques, bénéficient des insufflations tubo-tympaniques de vapeur sèche sulfurée, pratiquées sous pression rigoureusement contrôlée par les médecins consultants de la station.

Les affections chroniques des voies respiratoires inférieures sont aussi traitées à Luchon et l'Etablissement Thermal possède plusieurs salles où sont pratiqués, entre autre, des drainages de posture.

Pour les affections rhumatologique, la station met à la disposition des malades, de nombreuses sources sulfurées ou radioactives. Les techniques de cure sont aussi variées et aussi originales que les pratiques thermales O.R.L.

En effet, aux Thermes, existent de nombreuses cabines de bains en baignoire, avec ou sans douche sous-marine, des salles de douches tant locales que générales.

Ces bains et douches sont essentiellement alimentés par les grands réservoirs Bordeu qui stockent les eaux provenant de trois griffons Bordeu, et par le petit réservoir Bordeu qui recueille les eaux des griffons Bosquet moins le n° 8, les Sengez et les Tièdes.

Ces trois groupes de sources sont elles aussi légèrement radioactives, comme nous aurons l'occasion de le voir.

Enfin, les eaux froides des sources François et les eaux de ruissellement du canal hydrostatique servent elles aussi à refroidir certains bains et douches.

Les douches de propreté sont, elles, alimentées par l'eau de la ville.

Disons aussi que l'Etablissement Thermal construit en ce moment deux piscines sulfurées qui fonctionneront avec les eaux du groupe Bosquet qui sont actuellement rejetées à l'égout lorsque le petit réservoir Bordeu est plein.

A côté de ces pratiques hydrothérapiques existent des étuves locales pour les membres et des étuves pour bain de vapeur du corps entier, sauf la tête ; enfin des cabines pour application locale de boues radioactives préparées à partir de barègines naturelles, fonctionnent à l'Etablissement.

Mais en rhumatologie, les deux pratiques de cure les plus intéressantes, parce que les plus originales, sont celles qui font appel à la radioactivité des eaux et des gaz et parce qu'elles sont plus particulières à Luchon. Ce sont à l'Etablissement des Bains Moureu : les bains aérogazeux et le séjour plus ou moins prolongé au vaporarium sulfuré.

Le bain aérogazeux se pratique en baignoire, dont l'eau maintenue à 37°, provient d'un réservoir qui stocke l'eau des sources Moureu, Lepape 1 et Lepape 2.

Lorsque la baignoire est pleine, on fait barboter de l'air comprimé à l'aide d'une rampe à gaz immergée au fond de la baignoire.

Ce système simple fait dégager le radon dissous dans les eaux. Par cette pratique de cure, le malade est plongé dans une eau radioactive et inhale les gaz radioactifs qui s'en échappent.

Quant au vaporarium, il est constitué de galeries et de salles souterraines creusées dans le massif des pegmatites radifères, au contact des points d'émergence des sources sulfureuses et radioactives.

Le malade y supporte des températures se situant aux alentours de 37° dans une atmosphère extrêmement humide et radioactive.

La buvette, contiguë à l'établissement thermal, permet d'utiliser les eaux des Sources en thérapeutique locale O.R.L. et en boisson :

Pré 1, 2 et 3
Moureu radioactive
Romains
Ravi.

CHAPITRE IV

LES MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DES EAUX ET DES GAZ DE LUCHON

A. — MESURES FAITES AUX GRIFFONS

1° Dosages du radon dissous dans les eaux.

Les premières mesures de la radioactivité des eaux thermales de Bagnères-de-Luchon ont été effectuées par LEPAPE et MOUREU en 1909, puis en 1920 et 1923.

Plus récemment, OUSTRIN en 1957-58, puis CAUJOLLE, AUVERGNAT, OUSTRIN en 1961, ont contrôlé les mesures déjà effectuées et ont étudié en détail les variations de la concentration en radon des eaux provenant de différents griffons.

Il résulte de ces travaux que les variations saisonnières de la température des griffons sont tout à fait minimes, ne s'écartant pas de plus de 0,5 à 1° de part et d'autre de la moyenne, pour les sept griffons considérés.

Par contre la radioactivité semble être la propriété la plus soumise à variation et, s'il n'existe pas de cycle diurne de variation sans doute parce que l'écoulement des eaux reste toujours assez régulier aux griffons, les variations saisonnières sont, elles, assez importantes.

A titre d'exemple, OUSTRIN a trouvé pour le griffon Lepape n° 2, une radioactivité minima de 33,4 nCi/l d'eau au mois de Mars 1958, c'est-à-dire au moment du dégel, alors qu'au mois

d'Août 1957 le même griffon donnait une concentration en radon de 46,4 nCi/l par un jour de beau temps, mais alors qu'il avait abondamment plu la veille.

Ces fluctuations semblent être en relation avec le régime des eaux de surface, celles-ci se chargent en radon dans les souterrains qu'elles traversent, en se mêlant ensuite aux eaux profondes, elles augmentent la teneur en radon des sources.

Dans le tableau numéro 1, nous avons indiqué les différentes valeurs de la radioactivité de quelques griffons luchonnais.

On s'aperçoit à la lecture de ce tableau qu'il n'existe pas de très importantes différences dans les résultats publiés par les différents auteurs et qu'en 1961, avec des appareils très perfectionnés, on retrouve des valeurs proches de celles qui ont été mesurées en 1920, par l'électroscope à feuilles d'or.

TABLEAU N° 1

Radioactivité des Eaux à l'émergence

SOURCES	LEPAPE 1920	OUSTRIN 1958	GRANDPIERRE 1961
	nCi/l	nCi/l	nCi/l
Lepape 1	19	33	37
Lepape 2	41	40,1	42
Moureu	31	24,9	19
Tiède du Sud	31,6	25,1	non mesurée
Bosquet 4	26,5	14,8	"
Bosquet 6	—	17,4	"
Bosquet 8	23,9	28,2	"
Bordeu 6	12,7	26,4	"
Ravi	—	—	0,2

En effectuant des recherches qualitatives sur les eaux luchonnaises, GRANDPIERRE et ses collaborateurs (1961-1963) ont constaté que les eaux à l'émergence ne présentaient qu'une radioactivité alpha due au radon dissous et qu'on ne pouvait, en aucun cas, mettre en évidence une radioactivité bêta ou gamma dans les eaux prélevées directement à l'émergence et étudiées sitôt après.

En effet, l'étude de l'activité gamma d'échantillons d'eau fraîchement prélevée au griffon, n'a pas permis à ces auteurs de mettre en évidence la présence d'éléments fils du radon à courte période, plomb ou bismuth 214 dans l'eau à l'émergence.

Par contre une radioactivité gamma apparaît plus tard, devient maxima après quatre heures pour décroître ensuite avec la période de vie du radon.

En fait, des analyses très fines, faites en laboratoire par GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD, BLANQUET et MORONI ont montré en 1961 que les eaux de la source Lepape I contenait des traces d'uranium 238 ($3,6 \mu\text{g/l}$) et de Radium 226 ($2,4 \text{ pCi/l}$).

La source Moureu présente des teneurs de $6,8 \mu\text{g/l}$ d'Uranium 238 et 2 pCi/l de Radium.

Enfin le griffon Bosquet n° 8 contient respectivement $4,1 \mu\text{g/l}$ et $1,5 \text{ pCi/l}$ de ces deux éléments.

Ces teneurs en radio-éléments précurseurs du radon sont tout à fait minimes et leur importance décroît encore devant les chiffres de la concentration en radon des eaux.

On peut par conséquent retenir que les eaux des griffons de Luchon doivent leur radioactivité à la présence de radon dissous.

2° Dosage du radon dans les gaz.

Nous avons vu que Luchon occupait dans la classification de PIERY et MILHAUD une place de choix qui lui est conférée par la radioactivité de ses gaz thermaux.

Elle a surtout été étudiée depuis la construction du Vaporarium sulfuré en 1925 et on peut citer les travaux de BAQUE en 1926, ceux de GERMES et MOLINERY en 1935.

Plus tard certains auteurs tels que OUSTRIN en 1958, puis GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD et MORONI en 1961 et 1962, se sont attachés à mesurer la radioactivité de l'atmosphère des galeries de captage, des gaz s'échappant des griffons et du Vaporarium.

Les résultats de ces différents dosages sont donnés dans le tableau n° 2.

Les auteurs disposaient d'un camion laboratoire équipé d'une installation très complète, permettant le comptage de l'activité alpha par scintillation, la mesure du rayonnement bêta par compteur de GEIGER-MÜLLER, comprenant aussi un spectromètre enregistreur gamma. Ce laboratoire était aussi équipé d'installations complexes permettant le prélèvement et l'étude d'aérosols, etc...

Ainsi équipés, les auteurs ont pu effectuer leurs mesures par deux procédés différents et comparer leurs résultats.

La première méthode employée est celle qui repose sur la méthode de mesure de l'activité alpha du radon en recueillant des gaz dans un ballon scintillant.

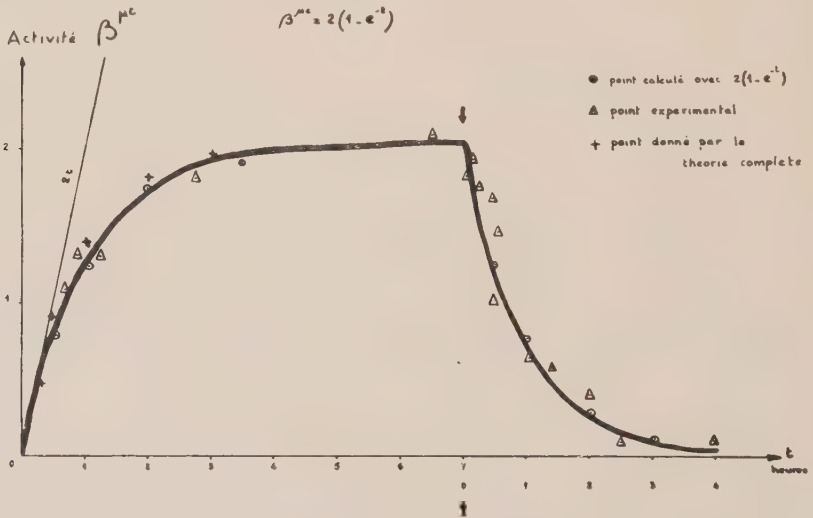


Fig. 4. — Accroissement de la radioactivité d'un filtre au cours d'une aspiration de 7 heures dans le vaporarium, puis décroissance du dépôt actif après arrêt de l'aspiration.

La seconde est fondée sur la mesure du radon par l'étude de la radioactivité β du dépôt actif recueilli sur des filtres.

Ces deux méthodes ont donné des résultats comparables. Ainsi dans les galeries Bordeu, trois mesures très reproductibles avaient été faites par la méthode des filtres et le rapport des mesures des activités alpha et bêta, est aussi très satisfaisant, il est en général proche de l'unité, ce qui montre bien que les deux méthodes sont concordantes et que dans l'atmosphère, le radon est en équilibre avec ses produits de filiation, au contraire de ce qui se passe dans les eaux.

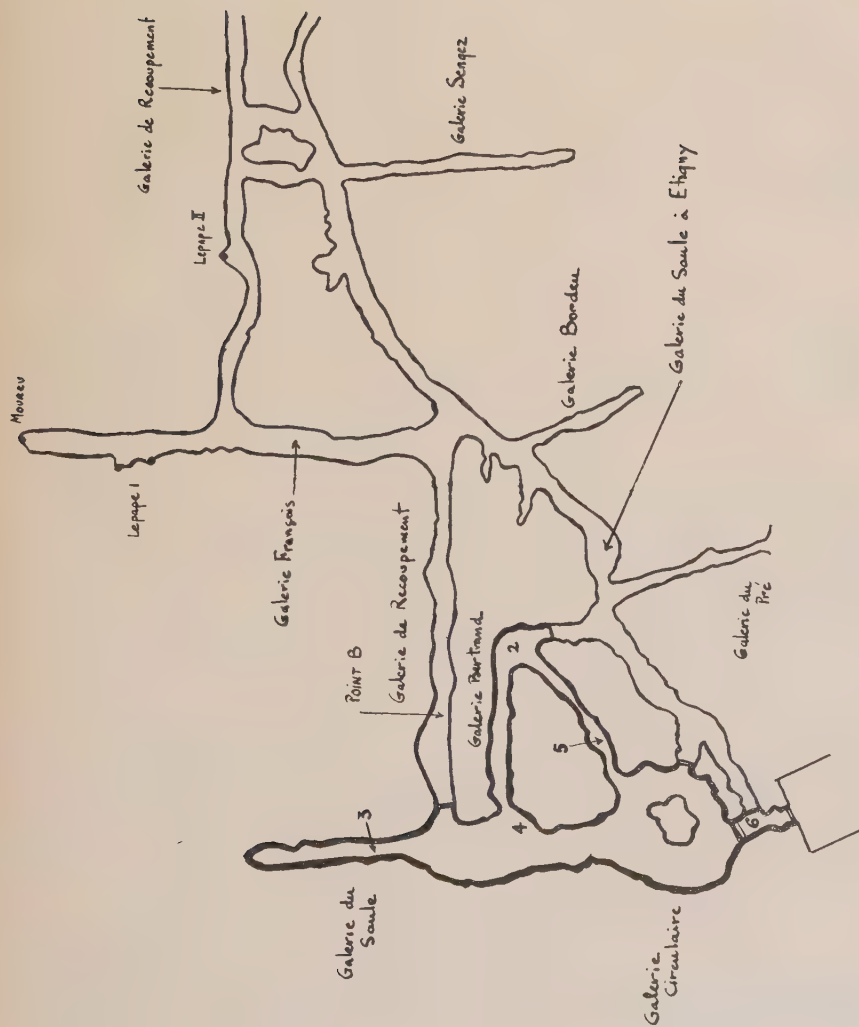


Fig. 5. — Plan des Galeries de captage et d'exploitation (Groupe Sud et Central)
(en traits gras le Radio-Vaporarium Sulfuré)

TABLEAU N° 2

Radioactivité des gaz

Prélèvements d'air. Lieux	α en i/min	nCi/l α	Filtre β en i/min	nCi/l β	Moyenne en nCi/l
Galeries François	165	0,41	120.000	0,35	0,38
Point A	—	—	90.000	0,28	0,30
Point B (Cf. le plan)	—	—			0,60
Prélèvements au-dessus des griffons					
Lepape n° 2	701	1,7			1,7
Lepape n° 1	421	1			1
(A l'ouverture du regard) (10 min plus tard)	177	0,45			0,45

Dans la première colonne du tableau, les chiffres expriment la radioactivité alpha mesurée grâce aux ballons scintillants et exprimée en impulsions par minute, le bruit de fond étant déduit.

Dans la seconde colonne, on trouve les valeurs de la concentration de l'air en radon exprimée en nCi/l d'air et obtenue par les ballons scintillants.

La colonne numéro trois exprime l'activité β mesurée sur les filtres en coups par minute pour une aspiration de trois heures, au débit de trois m³/heure. L'aspiration est immédiatement suivie du comptage.

La colonne suivante représente la concentration en radon exprimée en nCi/l d'air obtenue par la méthode des filtres.

Enfin dans la dernière colonne sont portées les moyennes des dosages et les chiffres représentent les valeurs de la concentration en radon, qu'il faut retenir pour les différents points de prélèvements choisis.

Au point « B », dans la galerie de recoupement du Saule à François, un seul dosage a été pratiqué par OUSTIN en 1958, grâce à une chambre à ionisation d'une capacité de huit litres.

B. — MESURES FAITES AUX POSTES D'UTILISATION

1° Mesures de la radioactivité des eaux.

L'étude de la radioactivité des eaux minérales, entreprise dès le début de ce siècle, avait certainement en grande partie pour but de tenter d'expliquer l'action thérapeutique des cures thermales.

Pendant une trentaine d'années, de nombreuses recherches ont été consacrées à la détermination de la radioactivité des eaux et des gaz des griffons des diverses stations thermales.

Les progrès accomplis par la suite, dans les méthodes de dosage, dans la connaissance des produits radioactifs naturels, ont montré combien la question s'avérait plus complexe qu'elle n'avait paru tout d'abord, les déterminations à effectuer quantitativement et qualitativement étant fort nombreuses.

Mais surtout, parmi les nombreux problèmes posés pour l'emploi médical des eaux radioactives, en dehors de ceux qui relèvent de la thérapeutique pure, se trouvent ceux qui concernent les caractéristiques exactes des eaux et des gaz au moment de l'emploi, les propriétés de ces éléments variant rapidement dans le temps, en fonction de la température et de bien d'autres facteurs.

C'est dans le but de parvenir à une meilleure connaissance des conditions d'utilisation des eaux thermales, à une meilleure connaissance aussi de la nature des eaux considérées comme agent thérapeutique que GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD et MORONI ont effectué toute une série de mesures de la radioactivité des eaux de Luchon aux postes d'utilisation.

Les méthodes que nous avons précédemment décrites ont été employées.

Pour mesurer le radon dissous dans les eaux, les auteurs ont eu recours à la méthode d'extraction qui consiste à faire barboter de l'air filtré dans l'eau et à mesurer l'activité de cet air.

Les chiffres que nous citons au tableau n° 3, ne doivent être considérés que comme des exemples, le temps de stockage de l'eau, le débit d'utilisation, le niveau des réservoirs, la température et bien d'autres facteurs encore provoquent, en effet, des variations selon la saison, selon la journée même.

TABLEAU N° 3

Radioactivité des eaux à l'utilisation

	Lieu de prélèvement	Teneur en Rn nCi/l	Observations
Eaux de boisson	Buvette à 8 h 30		A la source d'après Lepape, on aurait :
	Pré 1	0,9 nCi/l	4,2 nCi/l
	Pré 2	0,7 —	10 —
	Pré 3	1 —	10 —
	Ravi	0,2 —	A la source :
	Moureu	19 —	25 nCi/l 31 —
Eaux des bains	Bains radioactifs :		Beaucoup plus faible que les eaux d'origine
	Eau du réservoir	8 —	
	Eau dans une bai- gnoire	2,5 —	
	Bains Bordeu :		
	Bordeu pur	1,6 —	
	Bain mélangé	3,6 —	

Parmi les eaux de boisson, Moureu est une eau nettement radioactive et son long trajet jusqu'à la buvette ne diminue que de 20 % sa concentration en radon.

Sa température moyenne de 26°, c'est-à-dire basse pour une eau luchonnaise, lui permet de maintenir en solution le radon qu'elle contient.

Les trois sources Pré ont une activité très voisine entre elles, de l'ordre du nCi/l à la buvette ; leur perte en radon est beaucoup plus élevée si on compare cette valeur à celles trouvées à la source.

Le trajet qu'ont à effectuer les eaux n'est pas supérieur à celui que font les eaux de Moureu, mais leur température est beaucoup plus élevée, de l'ordre de 50°.

Quant à l'eau de la source Ravi, c'est son transport par camion qui lui fait perdre la majeure partie de son radon.

Pour l'eau des bains, on observe aussi cette décroissance très logique des concentrations en gaz dissous. Celles-ci passent de 35-40 nCi/l à l'émergence des sources Lepape à 8 nCi/l dans le réservoir de stockage, pour n'atteindre plus que 2,5 nCi/l dans les baignoires. Toutefois cette activité résiduelle doit être considérée comme non négligeable.

Pour les bains Bordeu, on remarque le même phénomène mais l'on constate ici que l'eau de dilution utilisée pour refroidir les bains, provenant des salines froides est nettement plus active que l'eau dite de base. En fait ce résultat n'est pas surprenant lorsque l'on sait que la saline froide récolte des eaux du canal hydrostatique, sorte de ruisseau qui draine toutes les eaux de ruissellement des galeries de captage des groupes Sud et central et dont l'atmosphère est rendue fortement radioactive par le dégagement gazeux des sources qui ont aussi leur émergence dans cette galerie.

De plus, là encore, la température basse des eaux de dilution, favorise la conservation du radon à l'état dissous qui se dégage au contraire beaucoup plus vite dans une eau chaude, comme Bordeu, dont la température est voisine de 40°.

2° Mesures de la radioactivité des gaz.

Nous avons vu que la station thermale de Bagnères-de-Luchon, utilisait pour de nombreuses pratiques de cures O.R.L. des gaz thermaux naturels.

Nous avons vu aussi que l'air des galeries de captage et tout particulièrement celui qui circule au-dessus des griffons radioactifs, présentait une teneur très importante en radon.

Il apparaît par conséquent, tout à fait logique de rechercher quelle est la radioactivité des gaz inhalés par les curistes subissant des séances de humage ou de nébullisation.

Le vaporarium sulfuré apparaît lui aussi comme un instrument de cure dont les constantes doivent être parfaitement connues et surveillées.

C'est pourquoi au cours de leur campagne de mesures de l'été 1962, GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD et MORONI ont mesuré les teneurs en radon de l'air prélevé aux différents postes de cure.

Nous avons vu que dans les galeries et au-dessus des griffons radio-actifs, le rapport des activités alpha et bêta était proche de l'unité, dans la salle des humages et des nébullisations, il en va cependant tout autrement.

TABLEAU N° 4

Radioactivité des gaz aux postes de cure

Lieux de Prélèvements	α en i/min (1)	nCi/l α	Filtre β en i/min	nCi/l β	Rapport α/β	Moyenne en nCi/l
Parc Thermal						
Au niveau du sol ..	0	10^{-3}	250	$8 \cdot 10^{-4}$		$8 \cdot 10^{-4}$
A 5 m du sol	0	10^{-3}	170	$5 \cdot 10^{-4}$		$5 \cdot 10^{-4}$
« Castel Hôtel » Jardin	0	10^{-3}	270	$8 \cdot 10^{-4}$		$8 \cdot 10^{-4}$
Grand Hall des Thermes	2	$5 \cdot 10^{-3}$	1.500	$4,5 \cdot 10^{-3}$	1,1	$5 \cdot 10^{-3}$
Buvette, Ambiance à 10 h ..	3	$7 \cdot 10^{-3}$	2.400	$7 \cdot 10^{-3}$	1	$7 \cdot 10^{-3}$
Bains Bordeu						
Galerie Bordeu	5	0,012	5.000	0,013	0,9	0,012
Air au-dessus d'un bain'	15	0,038	—	—	—	0,038
Bains radioactifs.						
Hall	7	0,018	5.200	0,016	1	0,017
Cabine	—	—	9.200	0,030	—	0,030
Air sur réservoir ..	12	0,03	10.000	0,031	—	0,030
Air sur un bain	250	0,60	—	—	—	0,60
Humages.						
Ambiance salle	20	0,05	6.400			0,05
Saule rampe droite .	53	0,13	12.000			0,13
Saule rampe gauche .	30	0,075	8.500			0,07
Bordeu rampe droite.	35	0,08	7.700			0,08
Bordeu rampe gauche	28	0,07	7.600			0,07
Humages la nuit			2.000			0,015
Nébullisations (Salle adultes)	5	0,012				0,012

(1) L'activité α est donnée en i/min, bruit de fond déduit.

TABLEAU N° 4 bis

Mesures de la radioactivité au Vaporarium

Lieux des Prélèvements	En i/min	nCi/l	Filtre en i/min	nCi/l	Rapport	Moyenne nCi/l
Galerie circulaire.						
Le 29.6.61 :						
à 9 h	140	0,35	127.000	0,40	0,9	
à 10 h	128	0,32				
à 11 h	107	0,27	76.000	0,24	1,15	0,35
Le 1.7.61 :						
à 8 h	135	0,34	83.000	0,25	1,35	0,35
à 11 h	110	0,27	75.000	0,24	1,15	
Galerie Bertrand (2)	110	0,27				0,30
Galerie du Saule (3)	70	0,18				0,18
Salle Bardet (4)	90	0,23				0,23
Galerie des Mineurs (5)	74	0,19				0,19
Entrée du Vapo (6).	62	0,15				0,15

Le rapport α/β est de trois, c'est-à-dire que la valeur du dépôt actif n'est que du tiers de ce que laisse supposer la concentration en radon.

Cela est dû au fait que l'aspiration a été effectuée directement sur l'orifice de humage ; or l'aérosol radio-actif employé pour les humages et les nébullisations circule dans des canalisations de faible diamètre ; comme les particules positives migrent rapidement vers les parois dans un champ électrique élevé à proximité de ces surfaces, les tuyaux vont retenir une forte proportion de l'aérosol.

Les résultats des différentes mesures sont donnés dans le tableau n° 4.

Pour la lecture de ce tableau où nous donnons les résultats fournis par les deux méthodes utilisées par les auteurs, on voudra bien se reporter aux explications données à propos du tableau n° 2.

Le site de Luchon présente une radioactivité normale. Mais dès l'entrée dans les Thermes, dans le grand Hall, comme à la

buvette, on mesure une radio-activité significative d'environ 25 fois supérieure à la normale.

Les concentrations en radon les plus élevées sont relevées aux bains aéro-gazeux radioactifs.

Au-dessus de l'un de ces bains on a trouvé une concentration en radon de 0,60 nCi/l d'air, soit environ 2.000 fois la radio-activité naturelle.

L'air comprimé qui se dégage au fond de la baignoire facilite l'extraction du radon des eaux, et explique cette surprenante concentration à la surface où respire le malade.

Au-dessus des bains Bordeu, le résultat est bien moins net, mais les eaux sont, nous l'avons vu, dix fois moins actives, il n'y a pas de dégagement d'air comprimé au fond du bain.

Au radio-vaporium de Luchon, aux différents points où les prélèvements ont été faits on enregistre quelques faibles variations. Les valeurs les plus basses se situent à l'entrée du Vaporarium, et au point de jonction de la galerie des Mineurs et de la galerie Bertrand (Point n° 2, sur le plan) où il existe une porte métallique non étanche, faisant communiquer le Vaporarium avec la longue galerie du Saule à Etigny, où il n'existe pas de ruissellement d'eau radioactive.

Cette diminution des valeurs de la concentration en radon s'explique par les communications qui existent avec des enceintes où la radioactivité est faible.

Il est à noter du reste que la circulation des curistes au cours de la matinée provoque une légère aération dans les salles du Vaporarium. Les résultats des dosages du radon dans l'air, baissent au cours de la matinée.

On trouve par exemple 0,35 nCi/l d'air à 8 h du matin, alors qu'à 11 h on n'enregistre plus que 0,27 nCi/l. Cependant les activités diurnes et nocturnes sont tout à fait comparables.

Ainsi donc les diverses mesures de la radioactivité des eaux comme des gaz, pratiquées aux lieux même des traitements thermaux, montrent qu'il existe des différences souvent considérables entre les résultats obtenus aux griffons et ceux trouvés à l'utilisation.

C. — MESURES PERSONNELLES

En Juillet 1965, nous avons personnellement mesuré l'activité alpha de l'air du site thermal de Luchon, des Thermes, des galeries et de plusieurs postes de cure, tels que le radio-vaporarium sulfuré.

Nous disposions d'un appareil de détection de la radioactivité alpha, portatif, type I.P.A.B.2, construit par les Etablissements NARDEUX, sous licence C.E.A. et mis à notre disposition par le laboratoire du Centre d'Etudes Hydrologiques de Luchon.

La sonde alpha est reliée à un dispositif permettant son alimentation sous une tension stable de 1.360 v., l'ensemble de l'appareil peut être relié ou non à une échelle de comptage de type classique.

Nous n'avons pas effectué de prélèvements d'air dans des ballons, mais grâce au faible poids de l'appareil nous avons pu effectuer directement des mesures de l'activité alpha due au radon de « l'ambiance » du lieu choisi.

Le bruit de fond de l'appareil dans un lieu connu pour ne pas contenir de radon était de l'ordre de 0,5 à 1,5 coups/min.

L'étalonnage de l'appareil a été effectué au vaporarium où les concentrations en radon sont très stables comme l'ont montré les mesures d'ARNAUD. Nous avons pu obtenir des activités de plus de 100 coups/min, donc bien supérieures au bruit de fond. Le nombre d'impulsions par unité de temps choisie étant proportionnel à la concentration en radon de l'air étudié, de simples règles de trois permettent de connaître la quantité de radon présente dans l'atmosphère.

Les mesures s'effectuant directement, nous n'avons pas eu à tenir compte du coefficient de destruction du radon en fonction du temps.

Les résultats sont exprimés en nanocuries par litre d'air, soit 10^{-9} curie/l.

Les différences importantes entre les valeurs que nous rapportons pour les galeries et celles qui avaient été relevées trois ou quatre ans auparavant par GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD et MORONI, proviennent essentiellement du fait qu'entre temps les griffons situés dans les galeries souterraines ont été bétonnés à leur partie supérieure.

En dehors du fait qu'il est devenu impossible de faire des prélèvements d'eau et de gaz directement aux griffons, il n'est même plus possible de mesurer directement la radioactivité de l'air au-dessus des griffons.

Tout au plus peut-on débrancher quelques raccords souples des canalisations de captage près de l'émergence des sources, mais les eaux sont alors perdues et il est difficile d'attendre dans ces conditions que l'atmosphère des galeries se charge en radon comme elle le faisait au temps où les eaux jaillissaient des griffons « à ciel ouvert » dans les galeries.

C'est sans doute pourquoi nous n'avons trouvé dans la galerie François que 0,056 nCi/l d'air, alors que, lorsque les griffons étaient ouverts, on y trouvait une concentration en radon de 0,41 nCi/l, soit près de dix fois plus.

Dans la galerie François et dans la grande galerie de recouplement où circule le canal hydrostatique, juste au-dessus des griffons Lepape 1 et 2, l'équipe de GRANDPIERRE avait trouvé les plus fortes concentrations en radon jamais enregistrées à Luchon, de 1,7 nCi/l au-dessus de Lepape 2, et de 1 nCi/l au-dessus du griffon Lepape 1.

Après aération des puits, les auteurs ne trouvaient qu'une valeur beaucoup plus faible de l'ordre de 0,35 nCi/l, valeur proche de celle qui existait alors dans la galerie François, loin des griffons. Aujourd'hui, on ne trouve dans la galerie des valeurs du même ordre qu'en laissant couler l'eau à « ciel ouvert », après avoir démonté les buses de raccordement placées sur les tuyauteries de captage des sources.

En laissant couler l'eau deux minutes, on trouve dans la galerie François, au-dessus de Lepape 1, 0,44 nCi/l, alors qu'en temps normal on ne trouve au même endroit que 0,09 nCi/l d'air.

Au-dessus de Lepape 2, on obtient une différence moins nette, car la dalle de ciment a provoqué une surpression sur le griffon, et l'eau s'écoule par une fissure du rocher à un niveau plus élevé que celui de l'émergence primitive.

Ainsi une rigole d'eau, provenant de la source Lepape 1, coule jour et nuit dans la galerie de recouplement, ce qui explique que l'on y trouve une radioactivité plus importante que dans les autres souterrains, hormis le vaporarium, et que le fait de débrancher la canalisation qui recueille l'eau du griffon n'augmente

TABLEAU N° 5

Radioactivité alpha de l'air

Lieux et dates des mesures	Activité α en i/min	nCi/l α	Mesures de 1961-62 en nCi/l
Parc thermal au niveau du sol	B de F	10 ⁻³	10 ⁻³
Grand hall des Thermes	2	4.10 ⁻³	5.10 ⁻³
Buvette			
Ambiance du hall à 10 h	4	8.10 ⁻³	7.10 ⁻³
Enceinte des robinets	8	0,010	—
Bains Bordeu			
Air au-dessus d'un bain normal (37°) .	12	0,021	0,038
Air au-dessus d'un bain avec eau Fran- çois	25	0,060	—
Air au-dessus d'un bain avec eau Bor- deu pure	10	0,020	—
Bains radioactifs.			
Dans le Hall	8	0,010	0,018
Dans une cabine	10	0,020	0,030
Au-dessus du bain	200-280	0,48-0,68	0,60
Humages.			
Ambiance de la salle	10	0,020	0,050
Saule rampe gauche	30	0,071	0,075
Bordeu rampe droite	35	0,080	0,080
Reine rampe droite	15	0,038	
Blanche rampe gauche	21	0,050	
Vaporarium.			
Entrée	56	0,13	0,16
Galerie circulaire (1) (à 11 h)	125	0,30	0,32
Galerie Bertrand (2)	75	0,18	0,27
Galerie du Saule (3)	88	0,21	0,18
Salle Bardet (4)	115	0,28	0,23
Galerie des Mineurs (5)	65	0,16	0,19

pas dans des proportions très importantes la concentration en radon de l'atmosphère ; enfin cette résurgence explique que les eaux froides drainées par le canal hydrostatique et qui servent en partie à refroidir les bains, soient restées radioactives par rapport aux mesures antérieures.

Par contre au vaporarium, où il existe de nombreuses infiltrations d'eau à travers les parois, nous avons retrouvé des valeurs de la concentration en radon atmosphérique tout à fait comparables à celles de 1961-62.

Il en est de même de tous les autres lieux où les mesures ont pu être faites à « ciel ouvert », c'est-à-dire dans les mêmes conditions que GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD et MORONI.

Nous donnons les résultats dans le tableau n° 5. Dans la première colonne, nous indiquons les différents lieux où les mesures ont été effectuées, dans la seconde se trouvent les valeurs de la radioactivité alpha que nous avons mesuré en impulsions par minute ; dans la troisième colonne on trouvera la radioactivité alpha, cor-

TABLEAU N° 6

Mesures de la radioactivité alpha dans les galeries

Lieux, dates et conditions des mesures	Radioactivité en nCi/l en 1962	Radioactivité en nCi/l en 1965
GALERIE FRANÇOIS		
Griffons scellés	0,41	—
Griffons ouverts	—	0,056
Au-dessus du griffon Moureu		
Griffon scellé	—	0,073
Tuyau débranché (écoulement de 2 min) ..	—	0,23
Au-dessus du griffon Lepape I		
Griffon ouvert	1	—
Griffon scellé	—	0,11
Tuyau débranché (écoulement de 2 min) ..	—	0,44
Au-dessus de la rigole venant de Moureu, au niveau de Lepape I	—	0,093
GALERIE DE RECOUPEMENT		
Au-dessus de Lepape II		
Griffon ouvert	1,7	—
Griffon scellé	—	0,35
Tuyau débranché (écoulement de 2 min) ..	—	0,77
GALERIE SENGEZ		
Arrivée de toutes les eaux radioactives au réservoir. Au-dessus du regard	—	0,11

respondant à la concentration en radon atmosphérique exprimée en nanocuries par litre d'air, enfin dans la dernière colonne, nous avons rapporté à titre comparatif les résultats des mesures effectuées par l'équipe de chercheurs ayant travaillé en 1961 et 1962.

Lors de chaque mesure, nous avons bien pris garde de placer toujours la fenêtre de la sonde à 20 cm de la source de rayonnement alpha à mesurer, dans les galeries et le vaporarium, la sonde était tenue à 20 cm du sol.

Dans le tableau n° 6, nous comparons la radioactivité des gaz des galeries, que nous avons mesuré avec celles qui avaient été mesurée en 1962.

Il faut remarquer qu'entre ces deux périodes, les griffons ont été scellés à leur partie supérieure.

CHAPITRE V

CONTROLE DE LA RADIOACTIVITÉ ABSORBÉE PENDANT LA CURE THERMALE

Nous avons vu que les eaux radioactives de Luchon ne contenaient à l'émergence que du radon dissous, et que par conséquent il n'existait pas aux griffons d'équilibre radioactif.

Ce n'est que par la suite, dans le déplacement des eaux vers leurs lieux d'utilisation ou lors du stockage des eaux thermales, que l'équilibre radioactif se constitue.

Par contre, le radon de l'air est toujours en équilibre avec ses produits de filiation.

La mise en évidence du radon et de ses produits de filiation aux différents postes de cure, a conduit certains chercheurs à se demander quelles étaient les charges des différents isotopes accumulés par l'organisme durant une cure.

Ces charges totales ne peuvent être simplement déduites des concentrations observées dans les eaux et dans les gaz.

Au point de vue de la protection, l'éventualité des effets à long terme des radiations ionisantes, doit être envisagée et étudiée, tant chez les curistes que parmi le personnel des établissements thermaux chez lequel un véritable problème de médecine du travail pourrait se poser.

Ainsi l'utilisation des eaux minérales radioactives pose-t-elle des problèmes particuliers qu'il convient de résoudre pour chaque station individuellement, puisque leur solution sera différente sui-

vant la teneur des eaux et des gaz en produits radioactifs, suivant la qualité de ces éléments, suivant l'état d'équilibre des divers composants et suivant les pratiques de cure.

A partir des mesures faites aux postes de cure par la méthode du dépôt sur filtres, on a pu apprécier la radioactivité naturelle reçue ou absorbée par voie aérienne et orale au cours d'une cure normale au Vaporium ou d'un traitement antirhumatismal utilisant les bains radioactifs aéro-gazeux.

MESURES ANTÉRIEURES

En reprenant les mêmes approximations que BALE et SHAPIRO formulaient en 1955, celles de FRITSCH, PINSET et COURSA-GET en 1958, ARNAUD a pu montrer que les particules alpha du radon et de ses produits de filiation, délivraient sur les cellules superficielles de la trachée et des bronches, une dose totale de 10 rad pour l'ensemble d'une cure.

A cette irradiation localisée, il convient d'ajouter l'accumulation du dépôt actif sur les voies respiratoires, puis dans tout l'organisme.

Par la méthode des filtres, on peut recueillir après trois heures d'aspiration dans le vaporarium, jusqu'à 2 nCi d'émetteurs β , ce qui veut dire qu'il y a à chaque instant $1,3 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ de dépôt actif total, c'est-à-dire émetteurs alpha et bêta.

P. MORROW et L. CASARETT montraient en 1960 que lorsque les particules de l'aérosol inhalé étaient de l'ordre de 0,2 à 0,5 μ , la rétention pulmonaire pouvait aller jusqu'à 80 % de l'aérosol. Si les particules sont trop fines, formées d'oxydes métalliques seuls, une grande partie est rejetée. Quant aux poussières trop grosses, elles sont purement et simplement arrêtées par les voies aériennes supérieures.

Dans ces conditions on peut admettre qu'un curiste inhale approximativement une quantité totale de $30 \mu\text{C}$ de dépôt actif au cours d'une cure.

Les produits de filiation à vie brève se désintègrent au fur et à mesure de leur fixation en donnant un résidu de radium D ou plomb 210. La quantité de cet isotope peut être évaluée à 0,05 nCi, sa période est de 22 ans, il s'équilibrera à son tour avec les radiums E et F (bismuth et polonium 210).

Pour la radioactivité reçue par voie orale au cours des pratiques de boisson, le mécanisme est peu différent. Là encore, l'émanation du radium dissous dans l'eau est vite éliminée par la ventilation pulmonaire comme l'ont montré, dès 1935, Mme BLANQUET, MOUGEOT et AUBERTOT, mais il restera dans l'organisme le dépôt actif et le radium D.

En ne considérant que la source Moureu, la plus active des eaux de boissons luchonnaises, on peut évaluer à 3 μCi par cure, la quantité totale de radium D retenue.

L'activité cédée au sujet, tant par les eaux que par les aérosols est donc essentiellement composée du radon et de ses descendants ; parmi ces descendants, deux sont particulièrement intéressants, du fait de leur activité γ , le radium B ou plomb 214 et le radium C ou bismuth 214.

Du fait de leur très courtes périodes, respectivement de 26 et 19 minutes, ces descendants sont très rapidement en équilibre avec le radon qui leur a donné naissance.

Cet équilibre vite atteint permet la mesure par spectrométrie γ de la charge de radon accumulée pendant un traitement ou une exposition professionnelle dans le cas des agents de l'Etablissement.

Cette activité est essentiellement labile, la période biologique du radon étant très courte.

En mesurant la décroissance de l'activité γ enregistrée dans les domaines énergétiques des éléments 214, on peut s'assurer directement de cette labilité.

Mais à côté du radon proprement dit et de ses éléments fils à vies courtes, il existe également des descendants à vies longues, représentés essentiellement par les radiums D et F, correspondant respectivement au plomb 210 dont la période est de 22 ans et au polonium 210, de 180 jours de période. En raison même de leur si longue période, ces corps risquent de s'accumuler dans l'organisme.

Toutefois la quantité de ces isotopes ainsi formée correspond à une activité peu importante, le plomb 210 en particulier n'en représente pas moins un élément à prendre en considération, car son action biologique, due à sa localisation élective à proximité de la moelle osseuse, peut être notable à des doses plus faibles que celles requises pour la plupart des autres éléments.

C'est pourquoi en 1961, GRANDPIERRE, ARNAUD et BLANQUET ont cherché à mettre en évidence les éléments 210 à longue période, à période biologique suffisante pour permettre l'accumulation de nombreuses fixations antérieures, d'une ou même plusieurs cures et conduisant alors à une concentration assez élevée pour être mesurable in vivo.

L'année suivante GRANDPIERRE, ARNAUD, MORONI et PELLERIN ont étudié à Luchon d'adsorption des radio-éléments naturels par étude du spectrogramme γ humain, en s'attachant tout particulièrement cette fois, à la recherche des éléments 214 à brève période.

Pour ce faire, une soixantaine de curistes inhalant des gaz ou absorbant des eaux radio-actives au cours des pratiques de cure ont été examinés au spectromètre γ dans un « Total body counter » appartenant au S.C.P.R.I.

Rappelons que les éléments 214 donnent de nombreuses raies caractéristiques, la première due au plomb 214, se situe à 350 Kev., elle est assez difficile à repérer, car cette région est riche en pics d'émission et de plus surchargée par l'apport de l'effet Compton.

Pour le bismuth, la première raie correspond à une énergie plus grande de 610 Kev. C'est la plus importante, malheureusement, elle interfère avec le pic du Césium 137, élément radioactif que l'on trouve chez tous les individus normaux, et qui provient des retombées radioactives des explosions nucléaires.

On trouve ensuite deux autres raies caractéristiques du métal à 1.100 Kev et 1.760 Kev.

Entre ces deux pics se trouve celui qui caractérise le Potassium 40, autre radio-élément, mais qui est lui, un constituant naturel de la matière vivante.

Ainsi chez un sujet normal, on trouve à partir de 500 Kev, deux pics, l'un à 610 Kev, correspondant au césium 137, l'autre à 1.460 Kev correspondant au potassium 40.

On a donc examiné des individus normaux servant de témoins avant et après une séance au vaporarium, des curistes immédiatement après leur sortie d'une pratique de cure, puis ces mêmes malades étaient à nouveau examinés au bout de deux heures.

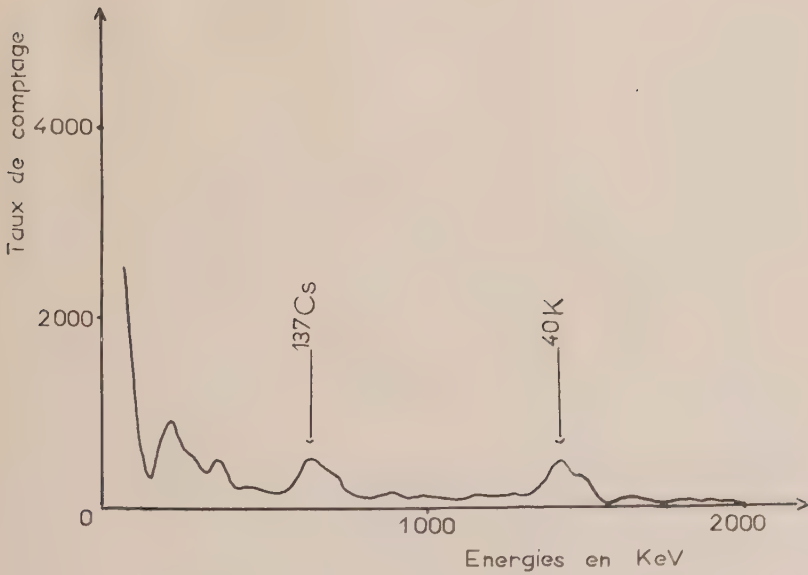


Fig. 6. — Spectre α humain d'un individu normal.

On observe les deux pics habituels, le potassium 40 naturel et le césium 137 provenant des retombées des tects nucléaires.

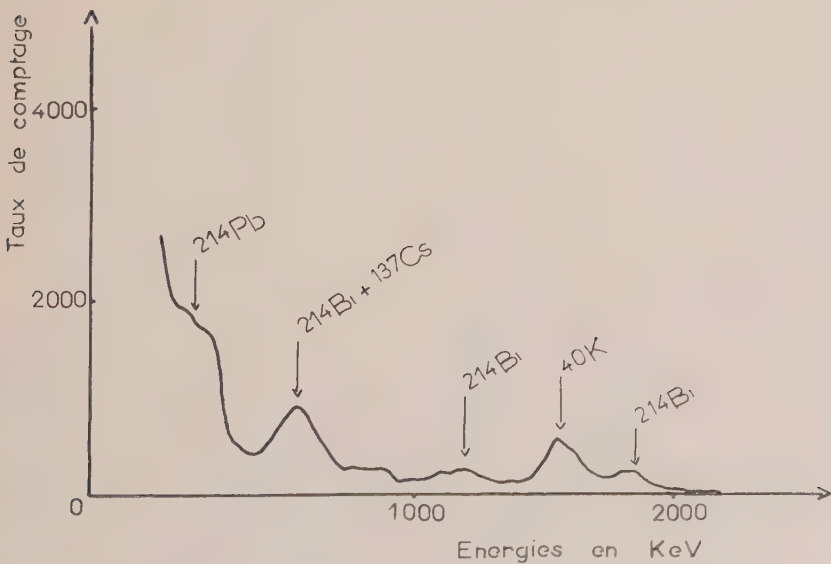


Fig. 7. — Spectre d'un curiste de Luchon après un séjour au vaporarium.

On observe en plus de ^{40}K et ^{137}Cs les pics plus importants du ^{214}Bi (γ de 0,61, 1,1 Mev et 1,76 Mev) ainsi que celui du ^{214}Pb (γ de 0,35 Mev).

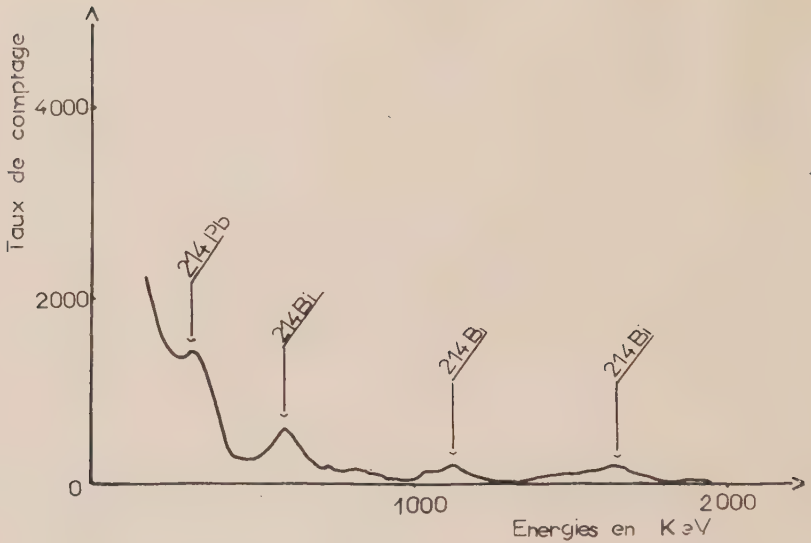


Fig. 8. — Spectre γ différentiel chez un curiste de vaporarium.
Pour mieux distinguer les pics γ dus aux ^{214}Bi et au ^{214}Pb de la radio-activité normale, on a fait la différence entre les spectres avant et après traitement. Le bruit de fond général est abaissé, les pics du ^{40}K et du ^{137}Cs disparaissent.

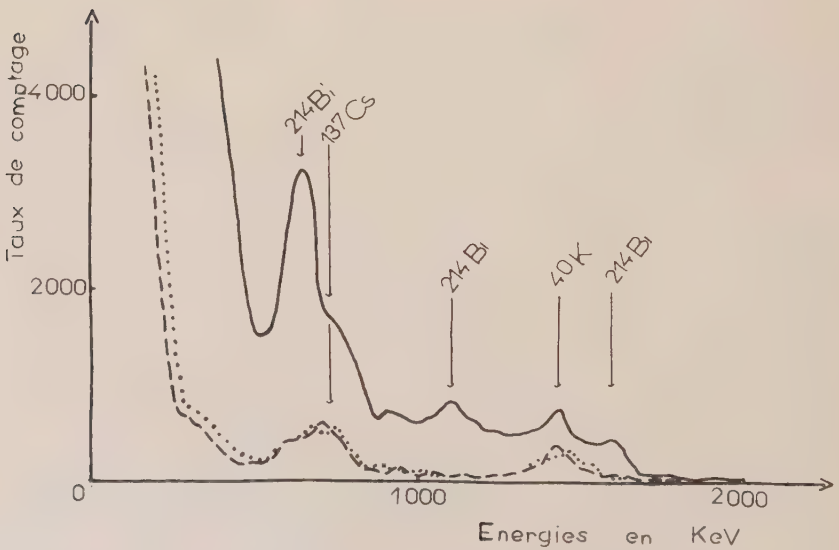


Fig. 9. — Superposition des 3 spectres γ d'un curiste.
--- avant toute pratique thermique.
— après 15 minutes de vaporarium.
.... 2 heures après la fin du traitement, on observe le retour à la normale.

Chez les sujets témoins, n'ayant pas subi de traitements au cours de la journée, il a toujours été trouvé des spectres γ normaux présentant seulement les pics du Cs 137 et du K 40.

Par contre, les malades examinés immédiatement après leur sortie du vaporarium, après une cure n'excédant pas 15 minutes, présentaient une activité très nette en Pb 214 et Bi 214.

Les produits de filiation du radon disparaissent de l'organisme au bout de deux heures, pendant la période biologique du radon qui est lui aussi éliminé après le traitement par la ventilation pulmonaire.

De fait les malades examinés deux heures après leur sortie du Vaporarium présentent à nouveau un spectrogramme normal.

L'étude des spectres de curistes ayant effectué de nombreuses cures, mais n'ayant pas subi de pratiques thermales immédiatement avant l'examen, montre des tracés ne présentant pas, dans l'ensemble, de pics caractéristiques des descendants à vie courte du radon.

Ainsi, M. R..., examiné sous le numéro SCPRI 274 est un curiste ayant effectué 22 cures à Luchon et quatre dans d'autres stations thermales, son spectrogramme effectué à 9 h, alors que le patient n'avait encore subi aucun traitement dans la matinée, est strictement normal, ne présentant que les pics du 137 Cs et du 40 K.

De même, Mme T..., examinée sous le numéro SCPRI 256 a effectué 13 cures à Luchon, elle a été examinée à 15 h 30, alors qu'elle avait dans la matinée subi un traitement ayant comporté un séjour au Vaporarium, une ingestion de 100 g d'eau de la source Ravi, des nébullisations et des gargarismes.

Son spectrogramme était lui aussi strictement normal.

Le temps de latence de plus de trois heures explique la disparition de l'activité due aux pratiques de cure de la matinée, il n'y a pas trace non plus d'une éventuelle fixation et accumulation de radium 226 au cours des treize cures antérieures.

Pour déceler la fixation dans l'organisme des descendants du radon à longue période, les éléments 210 et du radium 226, une trentaine d'explorations spectrométriques gamma ont été pratiquées au laboratoire de l'Etablissement Thermal.

On a examiné des sujets arrivant à la station, des curistes et certains agents du personnel de l'Etablissement Thermal.

Le cristal d'iodure de sodium du compteur a été appliqué directement sur le genou des sujets examinés, l'épiphyse distale du fémur fixant bien les radio-éléments.

Les résultats obtenus ont mené à la distinction de deux groupes d'individus.

Le premier est constitué de malades effectuant des cures au radio-vaporarium, le second est constitué de malades subissant un traitement ORL ou rhumatologique sans cures au vaporarium. Dans le premier groupe, huit malades sur quatorze présentent les deux ou trois légers pics pouvant témoigner de la présence du plomb 210 ou du radium 226 dans l'os.

Par contre, dans l'autre groupe, on ne constate aucune anomalie du spectrogramme, la présence d'une seule raie ne pouvant être considérée comme significative.

De toute façon aucun des sujets n'a présenté deux, ou mieux trois pics d'émission caractéristiques.

En fait l'analyse des différents spectrogrammes montre que, même dans les cas où les trois émissions sont obtenues, on ne peut conclure avec certitude à la présence du métal. Pour tous ces pics, en effet, le nombre d'impulsions par rapport au bruit de fond est trop bas.

Ainsi l'activité due au plomb 210 est-elle difficile à mettre en évidence, le faible rendement de l'émission, joint à la faiblesse de l'énergie qui le place dans une zone d'exploration malaisée, rendent pratiquement impossible l'étude quantitative de cet élément.

Seul un seuil d'activité peut être donné.

Les étalonnages qui ont été effectués avec la même méthode, sur des solutions étalons de plomb 210 donnent des seuils de l'ordre de la quantité fixée par les curistes durant une cure entière et évaluée à 0,05 nCi.

Les examens effectués avec ce type d'étalonnage sont tous restés négatifs, aussi bien chez un agent du personnel travaillant depuis onze ans dans l'établissement que chez un curiste totalisant 26 cures.

En fait, il est à supposer que les charges accumulées sont encore inférieures à 0,05 nCi.

Les travaux antérieurs conduisent à admettre que cette accumulation ne dépasse guère quelques dizaines de picocuries par cure ou par saison de travail d'un agent.

Et encore n'y a-t-il pas accumulation totale d'une année sur l'autre du fait de l'intervention de la période biologique de 500 jours.

MESURES PERSONNELLES

Depuis les travaux de Mme BLANQUET, MOUGEOT et AUBERTOT en 1935, puis ceux d'OSHIMA en 1949, on sait que la durée de survie de l'émanation du radium dans l'organisme jusqu'au moment où l'on ne peut plus mesurer le taux d'élimination, qui se produit surtout par l'arbre respiratoire, n'excède pas deux à trois heures.

Au cours de notre campagne de mesures de 1965, nous avons essayé à notre tour de confirmer ces résultats.

Pour ce faire nous avons choisi de mesurer la concentration en radon de l'air expiré chez des sujets ayant faits une cure de une heure au Vaporarium.

Le vaporarium nous a semblé tout particulièrement indiqué, parce que c'est un des lieux de cure où la radioactivité est la plus importante à Luchon, et surtout parce que c'est par inhalation que l'on fixe la plus grande quantité de radon. A titre d'exemple, signalons que POHL-RULING et SCHEMINSZKY ont montré qu'après une heure environ de séjour dans l'émanatorium de Bad-Gastein-Bockstein, il se produit un état d'équilibre où la concentration sanguine en radon atteint 30 % de celle de l'air inhalé pour une température locale normale.

Nous avons choisi quatre sujets normaux n'ayant pas subi dans la journée de cures thermales et nous les avons fait ventiler directement au-dessus d'une sonde alpha reliée à notre appareil de mesure. La bouche était placée le plus près possible de la grille de protection de la sonde.

Pendant le comptage, le sujet faisait une hyperventilation à un rythme de 30 mouvements respiratoires à la minute environ.

Entre les examens, les sujets poursuivaient une activité normale.

Nous avons examiné les sujets avant leur séjour au Vaporarium, puis immédiatement à leur sortie, puis une troisième fois une demi-heure après et enfin deux heures après leur sortie.

TABLEAU N° 7

Radioactivité de l'air expiré après un séjour au Vaporarium

	Radioactivité α avant le séjour au Vaporarium	Radioactivité α après un séjour de 1 h	30 min après	Deux heures après
Sujet n° 1	$7 \cdot 10^{-3}$	0,132	0,060	$7 \cdot 10^{-3}$
Sujet n° 2	10^{-3}	0,108	0,044	0,010
Sujet n° 3	$5 \cdot 10^{-3}$	0,134	0,065	10^{-3}
Sujet n° 4	$7 \cdot 10^{-3}$	0,136	0,060	$5 \cdot 10^{-3}$

La radioactivité est exprimée en nCi/l d'air.

Le tableau numéro 7 montre clairement que chez les quatre personnes examinées, la radioactivité de l'air expiré était presque nulle avant le séjour au vaporarium.

Par contre, après une station au vaporarium, la quantité de radon existant dans l'air expiré est très importante, représentant près de 50 % de la radioactivité mesurée au vaporarium.

Trente minutes après la sortie, la teneur en radon de l'air expiré a fortement baissé, elle est de 0,054 nCi/l d'air environ ce qui représente une chute de près de 50 % par rapport à la teneur que l'on trouvait immédiatement après la fin du séjour au vaporarium.

Enfin, après deux heures la concentration en radon de l'air expiré est redevenue chez tous les sujets, aux valeurs qu'ils présentaient avant l'expérience.

On voit par conséquent qu'en deux heures un sujet ayant fixé une dose importante de radon dans ses voies aériennes est capable de se débarrasser complètement de cette radioactivité alpha.

CHAPITRE VI

DISCUSSION

Nous avons vu que les eaux radioactives de Luchon ne devaient leur radioactivité qu'à la présence de radon dissous.

Si des analyses fines ont pu mettre en évidence dans les eaux des griffons de l'uranium 238 et du radium 226, il ne s'agit, de toute façon, que de doses infinitésimales.

Par contre, ces eaux sont riches en radon-émetteur alpha.

Mais par la suite, dans l'écoulement des eaux vers les postes de cure, l'équilibre radioactif apparaît.

C'est en 1961 que GRANDPIERRE, PELLERIN, ARNAUD, BLANQUET et MORONI, mirent en évidence ce phénomène qui n'avait, semble-t-il, jamais été signalé pour les eaux thermales radioactives.

Si l'on admet que le radon provient du radium retenu dans les couches géologiques profondes, on devrait trouver avec le radon émergeant, sinon ses antécédents, radium et uranium, du moins ses produits de filiation à période courte, les radiums A. B. C. et C'.

Parmi eux, deux sont des émetteurs gamma qu'il est possible d'identifier par spectrométrie.

Nous avons dit que l'eau prélevée au griffon et étudiée immédiatement après son recueil, ne possédait qu'une activité alpha, c'est dire que le radon n'y est pas en équilibre radioactif avec ses produits de filiation et qu'il est seul responsable de la radioactivité des eaux à l'émergence.

S'il n'existe donc que du radon dans les eaux prises aux griffons, il reste à expliquer la disparition de ces éléments 214 à vie courte, qui devraient être en équilibre avec le radon qui leur donne naissance.

Du fait même de la brièveté des périodes de ces éléments, il faut que l'épuration se produise avec une efficacité remarquable jusqu'au sortir même du griffon.

Un système de filtration profonde, due au sous-sol aussi parfait soit-il, ne semble pas pouvoir expliquer ce phénomène, car l'eau supposée filtrée circule un certain temps dans des canalisations naturelles avant son émergence, elle devrait donc se recharger en produits de filiation du radon.

Par contre, le phénomène peut facilement s'expliquer par des mécanismes d'adsorption.

Les terrains traversés par les eaux, juste avant leur émergence ont en effet des propriétés d'échangeurs d'ions, dues à la présence d'argiles permutites.

Ces couches fixeraient les métaux lourds tels que le plomb, le bismuth ou le polonium, descendants du radon et ainsi l'eau du griffon ne contiendrait plus que le radon dissous. Le radium pourrait être fixé de la même manière.

En étudiant les barégines, et les boues naturelles des galeries, les mêmes auteurs ont trouvé des faits particuliers capables d'étayer cette hypothèse.

On a décrit dans presque toutes les stations thermales sulfurées des dépôts envahissant les canalisations et qui sont constituées de micro-organismes, surtout végétaux appelés barégines. Il se dépose aussi dans les canalisations des boues minérales composées de sédiments entraînés par les eaux et qui ont la même composition que les terrains traversés par les eaux avant leur émergence.

Les barégines et les sédiments minéraux constituent ainsi une sorte de boue assez onctueuse qui se dépose dans toutes les canalisations et les galeries de captage de Luchon.

Or la radio-activité gamma de ces boues ne décroît pas avec le temps, mais leur activité gamma étudiée par spectrométrie, montre la présence de radium 226, elles en contiennent même entre 2.000 et 3.000 pCi/l, alors que les eaux les plus radioactives n'en contiennent que 2 à 3 pCi/l, soit 1.000 fois moins.

Il s'agit là d'un phénomène de concentration spectaculaire, qui ne peut être expliqué par un processus de filtration. Ces observations sur l'équilibre du radon avec ses produits de filiation ont permis de mieux définir les qualités de l'agent thérapeutique.

Nous venons de voir qu'à l'émergence le radon n'était pas en équilibre avec ses produits de filiation, mais que cet équilibre radioactif apparaissait au cours de l'écoulement des eaux vers les différents postes de cure.

Par conséquent les caractéristiques des eaux aux griffons ne permettent pas de présager des qualités de l'eau, considérée comme agent thérapeutique aux postes d'utilisation.

Des travaux qui ont abordé ce problème, on peut dégager un certain nombre de faits intéressants.

En ce qui concerne certaines eaux de cure, on peut mesurer à l'émergence une concentration en radon dissous de l'ordre de 40 nCi/l pour les sources Lepape. Dans les réservoirs des eaux radioactives servant pour les bains cette teneur n'est plus que de 8 nCi/l, enfin dans une baignoire il n'en reste plus que 2,5 nCi/l. Cependant, lorsque le bain est donné sous forme de bain aérogazeux, l'activité devient considérable car le dégagement du radon se trouve forcé par le bouillonnement provoqué par l'air.

Les eaux Bordeu accusent la même perte en radon, de 12 nCi/l à l'émergence on passe à 1,6 nCi/l à l'utilisation.

Mais nous avons vu comment les eaux froides, non radioactives à l'émergence, mais qui se chargent en radon au cours de leur cheminement dans les galeries, confèrent aux bains Bordeu la plus grande partie de leur radioactivité. Pour les eaux de boisson, des phénomènes analogues existent. L'eau de la source Ravi voit sa concentration en radon divisé par cent lorsqu'elle atteint la buvette après son transport.

Les eaux thermales radioactives comme celles des Prés 1, 2 et 3, accusent une perte de charge en radon qui dépend de leur température, les plus chaudes accusant une perte plus importante.

Ces variations de la teneur en radon s'expliquent d'une part par le stockage des eaux qui augmente considérablement le coefficient de destruction du radon et d'autre part par le fait que la

solubilité du radon est plus élevée dans l'eau froide que dans l'eau chaude. Les valeurs du coefficient de solubilité A du radon varient avec la température et suivent la loi empirique de MEYER :

$$A = 0,105 + 0,405 e^{-0,502 t}$$

Enfin, la solubilité du radon diminue lorsque la quantité de sels dissous augmente.

Il n'est donc pas étonnant qu'une eau thermale et sulfurée comme celle de Pré l, qui présentait en 1957 une température de 64° et un indice de sulfuration de 18, d'après les mesures de CAUJOLLE, STANISLAS et FLEUTIAUX, ne soit pas très radioactive lorsqu'elle arrive à la buvette. Signalons pour terminer que le brassage des eaux, fait se dégager fortement le radon dissous, c'est ce qui se passe pour les bains aéro-gazeux.

Les mesures dans l'air complètent utilement le bilan de la radioactivité intéressant le traitement des curistes de Bagnères-de-Luchon.

Le site de Luchon présente une concentration normale en radon, de 3,3 nCi/m³ d'air.

Mais dès l'entrée dans les thermes, l'activité est de près de 20 fois supérieure à la normale. Le radon se dégage fortement des bains radioactifs aéro-gazeux pour former au-dessus de la baignoire une nappe riche en radon et en aérosol, qui peut atteindre la concentration de 600 nCi/m³ d'air, soit 2.000 fois la normale, ceci après six bains consécutifs.

Au Vaporarium, la concentration est de l'ordre de 300 nCi/m³. En ce lieu confiné et humide il s'établit un équilibre radioactif entre le radon et ses produits de filiation à vie courte ; les radiums A, B, C et C'. Le radium D n'atteint qu'une concentration non mesurable.

Rappelons que depuis 1958 toutes les mesures effectuées cependant avec des techniques très diverses avec des appareils relativement simples ou au contraire extrêmement complexes, ont toujours donné des résultats très concordants.

Les recherches d'émetteurs gamma fixés au cours des pratiques de cure par les malades ont montré que les curistes examinés immédiatement après leur sortie du vaporarium présentaient l'activité la plus nette en plomb 214 et bismuth 214, mais ces pro-

duits de filiation du radon disparaissent de l'organisme au bout de deux heures, soit avec la période biologique du radon qui est éliminé après le traitement.

Nous avons montré qu'avec une technique très simple de dosage du radon dans l'air expiré, on pouvait se rendre compte de cette labilité et du rôle capital que joue la ventilation pulmonaire aussi bien dans l'absorption que dans l'élimination du radon.

Nos résultats concordent parfaitement avec ceux publiés par SCHEMINSZKY qui a pu déterminer la concentration en radon dans le sang veineux après un bain ou une inhalation.

Cette méthode beaucoup plus sensible présente néanmoins le désavantage d'être infiniment plus complexe et d'être aussi traumatisante.

Par contre les descendants à vie longue du radon plomb 210 et polonium 210, ce dernier étant du reste un émetteur gamma très discret, ne sont pas mesurables, même chez des curistes ayant fait de nombreuses cures.

Ils sont inférieurs à la radioactivité naturelle de l'homme en potassium 40 et en césium 137.

Les résultats de ces travaux nous semblent intéressants pour la pratique thermale. On voit que dans la station, objet de ces recherches, certaines pratiques de cure peuvent mettre en jeu une radioactivité mesurable mais transitoire. De ce fait cette radioactivité est utilisable en thérapeutique sans que, au cours de cures convenablement établies, une accumulation dangereuse de radio-éléments soit possible. Il nous semble souhaitable que toutes les eaux radioactives utilisées en thérapeutique et que toutes les pratiques de cure instaurées avec ces eaux soient l'objet de contrôles analogues. Ainsi les conditions d'utilisation des eaux minérales seront-elles mieux définies en même temps que pourront être élargies les possibilités de la créno-thérapie.

CONCLUSIONS

I. — Depuis le début du siècle, de nombreux chercheurs se sont intéressés au problème de la radioactivité des eaux minérales.

A Luchon, les premières mesures de la radioactivité globale des eaux ont été faites en 1920 par LEPAPE et les chiffres obtenus sont toujours valables.

Les mesures qualitatives permises par les appareils modernes ont montré que la radioactivité des eaux à l'émergence n'était due qu'à la présence de radon dissous. C'est grâce aux couches superficielles du sol que l'eau se trouve privée de métaux lourds. Si les eaux retrouvent ultérieurement des radio-éléments à vie brève, elles restent épurées du radium 226 et du plomb 210 à longue période.

II. — Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux aux griffons ne permettent pas de préjuger des propriétés de ces dernières aux postes d'utilisation.

C'est ainsi qu'à Luchon, la radioactivité décroît considérablement au cours du stockage et du cheminement de certaines eaux vers les postes de cure où l'équilibre radioactif se constitue.

Par contre, les eaux froides non radioactives à l'émergence, peuvent se charger en radon au cours de leur écoulement dans les galeries d'exploitation.

III. — La teneur en radon de l'air du site de Luchon est normale, mais dès l'entrée dans l'Etablissement Thermal, on note une concentration en radon 25 fois supérieure à la normale.

Le radio-vaporarium constitue une étuve naturelle où la radio-activité atmosphérique atteint 1.000 fois la normale et où le radon est en équilibre avec ses produits de filiation à vie brève, contrairement à ce qui se passe dans les eaux.

Certaines pratiques de cure (bains radioactifs), peuvent permettre au malade d'inhaler pendant toute la durée du bain un air dont la concentration en radon peut atteindre 2.000 fois la normale.

IV. — Il est possible de mesurer d'une façon rigoureuse la quantité de radon absorbée lors d'une pratique de cure, par un curiste.

La radioactivité reçue est essentiellement labile puisque deux heures après l'arrêt de la séance, on ne trouve plus, dans l'air expiré, ni de radon, ni de produits de filiation à courte période.

Quant à la fixation de produits de filiation à vie longue, elle n'est pas mesurable, même chez des sujets ayant effectué de nombreuses cures successives. Le radium 226 n'est pas, lui non plus, décelé chez ces curistes.

Le Doyen,
Pour le Doyen :
l'Assesseur :
M. LEVRAT.

Le Président de la Thèse,
MORET.

Vu et Permis d'imprimer.
LYON, le 22 Novembre 1965

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université,
P. LOUIS.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME. — Dosage du radon par scintillation. Bull. Inf. Scient. et technique. C.E.N. de Saclay. 1956, **3**, (4), 257.
- ARNAUD Y. — Radiations ionisantes, détection et mesure. Journées Médicales de France, Bordeaux. Rapports. 1959, **1**, 671.
- ARNDT R. et KURODA P. — Radioactivity of Rivers and Lakes in parts of Garlands and hotspots Counties Arkansas. Economic Geology. 1953, **48**, 551.
- ASCHOFF K. — Das Radium-Inhalatorium in Bad Kreuznach. Bad Kreuznach Zeit. 1916.
- ASTRE G. — Les eaux thermo-minérales des Pyrénées françaises et leurs groupements géologiques. XIV^e congrès Int. Hydrol. Clim. et Géol. Méd. Vol. Rapports. Paris 1933.
- AURAND K. et SCHRAUB A. — Über das Verhalten des Radon und seiner Folgeprodukte im organismus bei peroraler Verabreichung. Strahlentherapie. 1954, **94**, 272.
- BALE W. et SHAPIRO J. — Conférence **8**, 16. Genève 1955.
- BELIN R. — Radon in the New-Zealand geothermal region. Geochimica et Cosmochimica Acta. London 1959, **16**, (1/3) 158.
- BIZOLLON C.A. — Application de la spectrométrie γ à l'analyse qualitative et quantitative de traces de radio-éléments dissous dans l'eau. Thèse Doc. Pharm. Lyon 1963.

BLANQUET (Mme), MOUGEOT et AUBERTOT. — Sort de l'émanation dans l'organisme. Bull. Acad. Nat. Méd. 1935, **114**, 166.

BOLTWOOD B. — On the radioactive properties of waters of the springs. On the hot springs reservation. Arkansas. Amer. Journ. of Sci. 1905, **20**, (4), 128.

BONESSA C. — Rivelatori e misuratori di radioattività. Riv. Idrol. Clim. Tal. e Ter. Fis. 1951, **2**, 45.

BOULANGER R. — Détermination d'une petite quantité de radon par une méthode de comptage. Journ. Belge de Radiologie, 1952, **35**, (3), 569.

BUGNARD L. et FALLOT P. — Rapport sur la détermination de la radioactivité des eaux minérales. Rapport à la Commission d'Hydrologie du Ministère de la Santé Publique, 1957.

CAUJOLLE F. — Les eaux minérales de France. La Nature. 1954, (3232) 287 et (3233), 338.

CAUJOLLE F. — Les activités biologiques des eaux minérales de France. La Nature. 1956, (3256), 300.

CAUJOLLE F., AUVERGNAT et OUSTRIN J. — Régime radioactif de l'aire d'émergence luchonnaise. La Presse thermale et climatique, 1961, **98**, (2), 95.

CAUJOLLE F., STANISLAS E. et FLEUTIAUX P. — Les griffons sulfurés de Luchon. Le groupe Sud. Toulouse Pharmaceutique, 1958, **5**, (1), 9.

CIGNOLINI P. — Le odierne conoscenze sulle azioni fisico-chimiche elementari della radiazione in rapporto agli effetti biologici delle acque radioattive. Cong. Int. di Idroclim. Vol. Rapport. Lacco Ameno. 1958.

COMBRISSE J. — Recueil de données numériques et de définitions. Rapport C.E.A. n° 455, Tome 2. Protection et dosimétrie. 1955. C.E.N. Saclay.

- CONSIGLI V. — Determinazione di radioattività presso il Centro Studi di Lacco Ameno. *Radiologia Pratica*, 1959, **9**, 6.
- CURIE P. et LABORDE A. — Sur la radioactivité des gaz qui proviennent de l'eau des sources thermales. *C.R. Acad. Sci.* 1904, **138**, 1150.
- CURIE P. et LABORDE A. — Sur la radioactivité des gaz qui se dégagent de l'eau des sources thermales. *C.R. Acad. Sci.* 1906, **142**, 1462.
- DAMON P. et HYDE H. — Scintillation tube for the measurement of the radioactive gases. *Review of Scient. Instr.* 1952, **23**, (12), 766.
- DELIBRIAS G. — Dosage du radon dans l'air. *Journ. de Phys. et Rad.* 1954, **15**, 5.
- ELSTER et GEITEL. — Über radioaktivität von Erdaten und Quellsedimenten. *Phys. Ztschr.* 1904, **5**.
- ENGLER. — Über die Radioaktivität der Thermalquellen von Baden-Baden. *Ztschr. f. Elektrochemie usw.* 1905, **11**.
- ENGLER et SIEVEKING. — Zur Kenntnis der radioaktivität der mineralquellen und deren sedimente. *Ztschr. F. anorg. Chemie.* 1907, **53**.
- ENGLER. — Über die Entstehung radioactiver Quellen. *Radium i, Biologi und Heilkde.* 1912, **2**.
- FRITSCH A., PINSET I. et COURSAGET J. — Etude sur la teneur en produits radioactifs des eaux et des gaz des sources thermales du Mont-Dore et de Royat. *Journ. de Radio. et Elec.* 1958, **39**, (3).
- GIMBERGUES H. — Application de la spectrométrie gamma à la mesure directe des teneurs en radon et en radium des eaux thermales. Thèse Doc. Méd. Lyon 1964.
- GRANDPIERRE R., ARNAUD Y., MORONI J. et PELLERIN P. — Problèmes particuliers posés par l'utilisation des eaux minérales radioactives. Le cas de Luchon. *Comm. au Cong. Int. d'Hydro. et Climat. Méd. Baden-Baden.* 1962.

- GRANDPIERRE R., ARNAUD Y. et BLANQUET P. — Explorations spectrométriques gamma effectuées sur des curistes de Luchon. Journ. de Méd. de Bordeaux, 1961, **138**, 1036.
- GRANDPIERRE R., ARNAUD Y. MORONI J. et PELLERIN P. — Explorations spectrométriques de l'absorption de radio-éléments naturels effectuées à la station thermale de Luchon. Presse Thermale et Climatologique. 1962, **99**.
- GRANDPIERRE R., ROUBAULT Y. et JURAIN G. — Radioactivité des eaux thermales. In 4^e Conf. Int. des maladies rhumatismales, Aix-les-Bains, 1964, 643.
- GRANDPIERRE R. et ARNAUD Y.. — Recherches concernant les conditions d'emploi thérapeutique des eaux thermales radioactives. Bulletin des Thermes de Luchon, 1965, (5), 1.
- GRANDPIERRE R., ARNAUD Y., MORONI J. et PELLERIN P. — Recherche des émetteurs gamma descendants du radon dans les eaux de Luchon, 1962 (A paraître Ann. Inst. Hydrol. et Clim. Paris).
- GERMES G. et MOLINERY R. — Le vaporarium sulfuré de Luchon. Journ. Méd. Fr. 1935, **24**, 318.
- HOFFMANN J. — Uran in Quellengebiete von Franzensbad. Akad. Wiss. Wien. Cité par Grandpierre et coll. 1961.
- HOFFMANN J. — Über das radium-Uranverhältnis in Karlsbader Thermen. Akad. Wiss. Wien. Cité par Grandpierre et coll. 1962.
- IWASAKI I. — Geochemical investigations of strongly radioactive springs. Distribution of radon in hot springs. Chemic. Research. 1950, **8**.
- IWASAKI I et MURIKAMI T. — Determination of a very low content of radon in natural waters. Journ. Chem. Soc. Japan. 1951, **72**.
- JURAIN G. — Sur la teneur en Uranium d'eaux thermales du sud des Vosges. C.R. Acad. Sci. 1955, **241**, 1482.

JURAIN G. — Remarques sur la teneur en Uranium des eaux des Vosges méridionales. C.R. Acad. Sci. 1957, **245**, 1071.

JURAIN G. — Contribution à la connaissance géochimique des familles U-Ra. dans les Vosges méridionales. Mém. sciences de la terre. Nancy, 1961, (1) et Rapport C.E.A. 1962, (2154).

KAYSER P. — Contribution à l'étude de la teneur en radio-nuclides naturels des eaux minérales de Mondorf-les-Bains et de Plombières. Thèse Doc. Pharm. Nancy, 1962.

KURODA P., AMON et HYDE. — The radioactivity of the spring waters of hot springs National Park and Vicinity in Arkansas. Amer. Journ. of Sci. 1954, **252**, 76.

KURODA P. et YOKOYAMA Y. — Determination of the short-lived decay products of radon in natural waters. Analytical Chemistry. 1954, **26**, 1509.

LABEYRIE J. — Rapport C.E.A. 1960, (1499). Cité par Grandpierre et coll. 1962.

LABEYRIE J. — Mesure de la concentration des aérosols radioactifs. Thèse Doc. Sci. Paris, 1962.

LEPAPE A. — Analyse radioactive des sources thermales de Bagnères-de-Luchon. C. R. Acad. Sci. 1920, **171**, 731.

LEPAPE A. — Radioactivité des sources de quelques stations des Pyrénées. C.R. Acad. Sci. 1923, **176**, 1702.

LEPAPE A. — Relation entre la radioactivité, la température et la sulfuration des sources de Bagnères-de-Luchon. Hypothèse explicative. C.R. Acad. Sci. 1923, **176**, 1808.

LEPAPE A. — Sur la radioactivité de quelques sources froides de la région de Bagnères-de-Luchon et sur son origine. C.R. Acad. Sci. 1925, **181**, 112.

LEPAPE A. — Les données numériques actuelles sur la radioactivité des sources thermales françaises. Ann. Inst. Hydro. et Clim. Paris 1924, **2**, (1), 44.

MACHE H. — Über die Radioaktivität der Gasteiner Thermen. Sitzungsber Akad. Wiss. Wien, Math-Nat. Kl. Abt. II. 1904, 113.

MACHE H. et MEYER A. — Über die Radioaktivität Österreichischer Thermen. Phys. Ztschr. 1905, **6**, 178.

MACHE H. et BAMBERGER R. — Über die Radioaktivität der Gasteine und Quellen der Gasteiner Thermen. Sitzungsber Akad. Wiss. Wien, Math-Nat. Kl. Abt. 1914, **123**, (2), 195.

MAC LAURIN et WRIGHT. — Radioactivity of the thermal water Rotoma, Taupo, and Te Aroha. (New Zealand). Dominion Laboratory, Forthly Fourth Annual Report. 1911, 63.

MEGY J. — Appareillage pour la mesure de la concentration en radon des eaux thermales. Rapport C.E.A. 1957, **75**.

MORET L. — Les Sources thermo-minérales. Masson Ed. Paris 1946.

MOUREU C. — Les gaz rares des gaz naturels. Trans. Chem. Soc. 1923, **123**, 1905.

MOUREU C. et LEPAPE A. — Sur la radioactivité des sources thermales de Luchon. Technique expérimentale. Ann. des mines. 1909, **15**.

MOUREU C. et LEPAPE A. — La radioactivité des sources thermales de Bagnères-de-Luchon. Bull. Acad. Méd. 1909, **383**, 396.

OSCHIMA Y. — Radioactive springs. Radioactivity of underground water and surface water at the Misasa hot springs. Repts. Balneol. Lab. Okoyama Univ. 1949, **2**.

OUSTRIN J. — Contribution à l'étude de la radioactivité des eaux de Luchon. Thèse Doc. Pharm. Toulouse, 1958. Cléder Ed.

- PELLERIN P. — Camion Laboratoire. Rapport S.C.P.R.I. 1962, (85).
- PIERY M. et MILHAUD M. — Les eaux minérales radioactives. 1 vol. Gaston Douin Ed. Paris, 1924.
- ROUBAULT M., GRANDPIERRE R., COPPENS R. et JURAIN G. — La radioactivité des eaux minérales. Arch. de biol. thermo-clim. 1958, **3**, (4), 243.
- SCHEMINSZKY F. — L'action biologique des eaux minérales radioactives et des gaz thermaux radioactifs. Arch. de biol. thermo-clim. 1958, **3**, (4), 257.
- SCHLUNDT H. et MOORE E. — Radioactivity of the thermal waters of Yellowstone National Park. U.S. Geol. Survey Bull. Washington. 1909, **395**.
- SCHLUNDT H. — Radioactivity of the spring waters in the hot springs area of Arkansas. Amer. Journ. of Sci. 1935, **30**, 45.
- VAN DILLA M.A. et TAYSUM D.M. — Scintillation counter for Assay of radon gas. Nucleonics. 1955, (2), 12.
-

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	19
CHAPITRE PREMIER. — Les eaux minérales radioactives	21
Caractéristiques des eaux radioactives	26
CHAPITRE II. — Méthodes d'étude des eaux et des gaz radioactifs. .	31
Dosage de l'uranium	31
Dosage du radon	32
Détection des émetteurs γ descendants du radon	35
CHAPITRE III. — Les eaux et les gaz de Luchon, leur utilisation théra-	
peutique	37
Les eaux sulfurées sodiques	38
Les eaux radioactives	42
Les pratiques thermales	46
CHAPITRE IV. — Les mesures de la radioactivité des eaux et des gaz	
de Luchon	49
Mesures faites aux griffons	49
Dosage du radon dissous dans les eaux	49
Dosage du radon dans les gaz	51
Mesures faites aux postes d'utilisation	55
Mesures de la radioactivité des eaux	55
Mesures de la radioactivité des gaz	57
Mesures personnelles	61

CHAPITRE V. — Contrôle de la radioactivité absorbée pendant la cure thermique	67
Mesures antérieures	68
Mesures personnelles	75
CHAPITRE VI. — Discussion	77
CONCLUSIONS	83
BIBLIOGRAPHIE	85
